UNA VISIÓN DEL ASTILLERO 4.0 DE NAVANTIA

Antonio CRIADO GARCÍA-LEGAZ
Director de I + D + i Centro Tecnológico de Navantia

Carlos MERINO REGO
Director de Tecnologías Digitales. Centro Tecnológico de Navantia

Introducción

EN el contexto de este artículo, se entiende por Astillero 4.0 la particularización del concepto general de Industria 4.0 al sector de la construcción naval. De modo análogo, deberá interpretarse el término Astillero 4.0 de Navantia por el astillero del futuro de la empresa, que va más allá de la transformación digital, para incorporar también la modernización de las instalaciones físicas y los conceptos de buque inteligente y servicios inteligentes.

El arranque del concepto Astillero 4.0 coincidió con el final de una ronda de visitas realizadas entre los años 2014 y principios de 2015 a astilleros de referencia en todo el mundo y que permitió a Navantia hacerse una idea directa y propia de cuál era el estado del arte de la construcción naval mundial, así como de la situación de la empresa frente a estas referencias. En las visitas a Corea y Japón se entendió por qué estos países son los líderes indiscutibles en el mercado mundial de construcción naval, dejando a un lado aspectos que también son clave, como financiación, ayudas estatales, etc., pero que no deben ocultar los aspectos tecnológicos. El resultado de las visitas fue preocupante, pues dejó patente la ventaja técnica que llevan a Occidente, preocupado más por las ayudas de los gobiernos.

El recorrido se completó con visitas a empresas líderes de otros sectores (Inditex, PSA-Citroën, Airbus, Abengoa y Boeing), comprendiéndose también por qué son líderes tecnológicamente hablando. Nos permitieron ver aspectos en los que la construcción naval internacional está claramente atrasada, destacando la escasa aplicación de la robótica, y nos abrieron la mente a la búsqueda de nuevos caminos para el astillero del futuro que deseamos construir.

Tratando de imitar a Jorge Juan, se acudió a cualquier lugar del mundo donde se pudiera aprender de los mejores, como en Finlandia, donde se tuvo la oportunidad de ver en funcionamiento un Centro de Asistencia Técnica Remota desde el que la empresa ABB apoya el sostenimiento y la propia operación de más de sesenta cruceros que navegan con propulsión eléctrica por todo el mundo.

En resumen, comprobamos que teníamos los mejores productos, pero no los mejores procesos, y un reconocimiento humilde de esta realidad fue condición sine qua non para adoptar las medidas transformadoras que se necesitaban para la sostenibilidad de nuestros astilleros y también de nuestro sector.

Ante esta evaluación crítica y autocrítica, en Navantia nos pusimos a pensar, siendo conscientes de que no éramos los únicos que lo hacíamos en Europa, dada la crisis que venía y viene atravesando la industria y especialmente la naval en muchos países de nuestro entorno. Y como bien se explica en el artículo sobre Industria 4.0, publicado en este mismo número de la REVISTA, como resultado de esa profunda reflexión interna, se llegó a la Industria 4.0 y se vio que el camino era la ola de nuevas tecnologías digitales que había comenzado a experimentarse, llegándose, de ese modo, a la idea de Astillero 4.0.

Aproximación al Astillero 4.0 en Navantia.

De ese modo, en 2015 se comenzó a profundizar en el estudio del significado de la Cuarta Revolución Industrial (4RI) y del concepto de Industria 4.0, hasta llegar, en una aproximación *top-down*, a la comprensión profunda de este nuevo paradigma para adaptarlo a la realidad de Navantia y definir el concepto de Astillero 4.0 como único camino para la sostenibilidad competitiva y cuya adopción no era opcional, sino una necesidad.

Así y a lo largo del año 2015, la empresa: a) adoptó el modelo alemán de Industria 4.0 como referencia fundamental, por ser el único que proporcionaba un marco integral que incluía lo digital, pero también el acero, la técnica y las personas y, además, estaba siendo desarrollado por todos los agentes económicos y sociales de aquel país (Gobierno, empresas, sindicatos y academia); b) editó la política hacia el Astillero 4.0; c) incluyó el modelo de Industria Conectada 4.0 del Gobierno de España, y d) presentó oficialmente el concepto de Astillero 4.0 en la Jornada Tecnológica de la Semana Naval de la Armada, en el mes de septiembre de 2015.

Inauguración de las dependencias de la UMI en el CIT del Campus de Ferrol (2015).

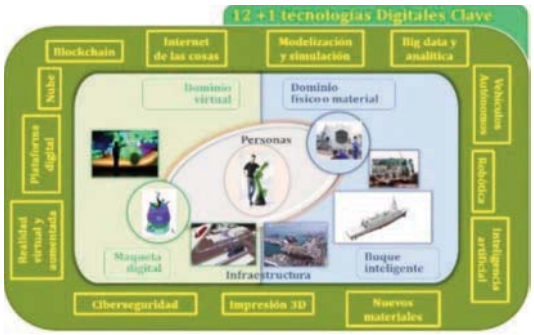
En ese tiempo y en paralelo a las acciones conceptuales relatadas, se puso en marcha un proyecto real y concreto de colaboración con la Academia (Universidade da Coruña) y con la Administración (Xunta de Galicia), denominado Unidad Mixta de Investigación (UMI) «Astillero del Futuro», con los objetivos de mejorar los procesos de producción y acercar la tecnología al puesto de trabajo en el Astillero de Navantia-Ferrol, para afrontar los retos tecnológicos asociados al programa de nuevas fragatas tipo *F-110*. Como se verá más adelante, la UMI ha sido uno de los motores esenciales de arranque del Astillero 4.0 en el período 2015-2018, proporcionándose más detalles de su actividad en el Anexo 1.

De forma semejante y con tres años de diferencia, en la actualidad se está poniendo en marcha, en la bahía de Cádiz, una Unidad de Innovación Conjunta (UIC) con la Universidad de Cádiz (UCA) y la Junta de Andalucía para la ejecución de un proyecto denominado «Astillero 4.0: desarrollo de un modelo productivo naval sostenible basado en tecnologías de fabricación avanzada y habilitadoras de la Industria 4.0», que se desarrollará en el Centro de Innovación en Tecnologías de Fabricación Avanzada de Andalucía (CFA) y está formado por siete líneas de investigación vinculadas a tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 y tecnologías de fabricación avanzada. El Anexo 2 proporciona más detalles del ecosistema de innovación que está desarrollándose en la bahía de Cádiz.

Desarrollo del concepto Astillero 4.0

Ya a principios de 2016, Navantia comenzó a desarrollar el concepto de Astillero 4.0:

— Definiendo el astillero como un sistema ciberfísico, en el que todo lo que existe en su interior contiene dos componentes: el físico o material y el cibernético o virtual, que conviven conformando los dominios virtual y real y en el que aparece el concepto de gemelo digital, que aplica no solo al producto, sino también a la planta, a los procesos y a las personas. Este constituye un concepto clave, como se



Tecnologías digitales clave para el Astillero 4.0.

explica en párrafos posteriores.

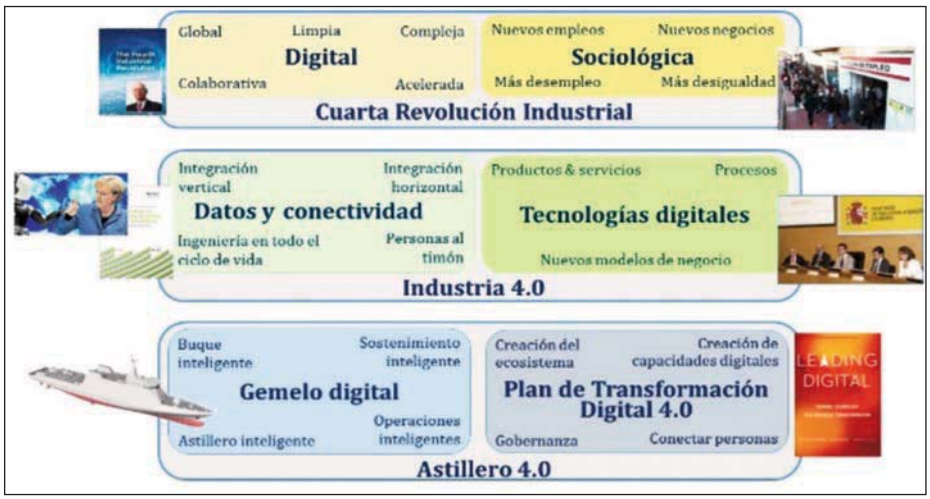
— Concretando las nuevas tecnologías digitales que impulsan la 4RI, cuya aplicación combinada multiplica sus efectos y evoluciona a una velocidad que cuesta trabajo asimilar. En ese momento, Navantia seleccionó doce tecnologías clave (robótica y automatización, realidad virtual, aumentada y mixta, Internet de las Cosas, modelado y simulación de procesos discretos…), sabiendo que su número variaría a lo largo del camino hacia el Astillero 4.0. El hecho propio de la 4RI es que estas tecnologías son asequibles para todos y estarán al alcance de todas las empresas, en todos los países. Por eso, las tecnologías no marcarán la diferencia, lo harán las personas y las organizaciones a las que pertenecen, en función de su capacidad para aplicarlas adecuadamente.

— Adaptando con precisión milimétrica el modelo alemán de Industria 4.0, con sus tres ejes de integración: el horizontal o externo, a lo largo de la cadena de valor (cliente, astillero y cadena de suministro); el vertical o interno, englobando toda la organización propia (producción, ingeniería y administración), y el temporal, que se extiende a lo largo de todo el ciclo de vida de nuestros buques y que alcanza los 50 años.

  El modelo alemán define un marco temporal de veinte años para la implantación plena de este nuevo paradigma global (2015-2035), lo cual tiene una trascendencia especial para la Armada y para Navantia, para España y para Ferrol, porque el programa de fragatas tipo *F-110,* en el que se comenzó a trabajar antes de que nadie hubiera tomado conciencia de la 4RI, va a construirse y comenzará su vida en servicio en plena implantación del Astillero 4.0 de Navantia. Algo semejante sucederá en el Astillero Bahía de Cádiz con el programa de corbetas para Arabia Saudí y posteriormente en el de Cartagena con la próxima serie de submarinos.

— Proyectándose fuera de sus propios límites para conectarse con los clientes y la cadena de suministro, para compartir esos datos que lo inundan todo a través de nuevas plataformas colaborativas y nuevas arquitecturas.

— Comenzando a desarrollar productos inteligentes y llegando también al campo de los servicios, creando el sostenimiento inteligente.



Modelo de Astillero 4.0 (tríptico).

— Descubriendo que el gemelo digital es, en realidad, la clave de bóveda del concepto Astillero 4.0, de modo que todos los elementos físicos tienen sus gemelos digitales.

De este modo, se profundizó en el modelo global del Astillero 4.0 (aproximación *top-down*) y se llenaron aquellas tres cajas vacías de 4RI, Industria 4.0 y Astillero 4.0 con las que se había comenzado en 2015 con todos los elementos de la 4RI (digital, colaborativa, global, limpia, compleja, acelerada, sociológica, nuevos empleos, nuevos negocios, más desempleo, más desigualdad), de la Industria 4.0 (datos y conectividad, integración vertical, integración horizontal, ingeniería en todo el ciclo de vida, personas al timón, tecnologías digitales, productos y servicios, procesos, modelos de negocio) y del Astillero 4.0 (gemelo digital, buque inteligente, sostenimiento inteligente, astillero inteligente, operaciones inteligentes, plan de transformación digital 4.0, creación del ecosistema, creación de capacidades digitales, gobernanza, personas conectadas) y fueron consolidándose conceptos como la integración vertical y horizontal, las tecnologías digitales y la maqueta o gemelo digital.

A mediados de 2017 y como demostración del compromiso de la empresa con este objetivo, el Astillero 4.0 fue incluido como uno de los tres pilares de su Plan Estratégico (PEN), junto con la cartera de nuevos contratos y el de la renovación de su plantilla. Además, Navantia ha dado un contenido al Astillero 4.0 que va más allá de la transformación digital, abarcando también la modernización de las instalaciones físicas de sus astilleros y fábricas.

Con este espaldarazo empresarial, a lo largo de 2017 y con el objetivo central de cambiar el resultado económico de la empresa, se planteó una transformación digital integral abarcando todas las áreas de la empresa, es decir, a los productos y servicios, las infraestructuras físicas y digitales, los procesos y también las personas, de modo que la Navantia actual, al recibir el impacto de las tecnologías digitales, se transformará en la Navantia 4.0.

Aspectos relevantes del Astillero 4.0 de Navantia

El Astillero 4.0 de Navantia incluirá, por tanto, la modernización de sus instalaciones y la incorporación de las tecnologías digitales y de otras líneas de trabajo sobre conceptos muy ligados a las anteriores.

Instalaciones

Nueva planta prevista del Astillero 4.0 de Navantia en Ferrol.

Las instalaciones de los astilleros y fábricas de Navantia se modernizarán dentro del desarrollo del concepto Astillero 4.0. Entre estas modernizaciones destacan las de los astilleros Bahía de Cádiz y Ferrol; este último será el que se utilice, a modo de ejemplo, para el desarrollo de la visión de un astillero de futuro, por ser las instalaciones en las que se construirán las fragatas tipo *F-110*.

Naturalmente, un astillero digital desarrolla su máximo potencial competitivo en unas instalaciones físicas de alta eficiencia. Por ello, Navantia trabaja en este aspecto para el Astillero de Ferrol, donde se construirán las *F-110*, debido a que las instalaciones actuales fueron creciendo de forma no integral a lo largo del siglo XX, lo que supone que la construcción no pueda realizarse de forma óptima, como sí sucede en los astilleros del siglo XXI. En la planta actual, la parte de armamento a flote ya existía en los siglos XVIII y XIX y se mantiene en la misma zona, estando los muelles de la dársena en la misma situación. La parte de aceros, separada, fue creciendo con el tamaño de los buques desde el siglo XVIII, y hasta mediados del XX no estaban comunicados aceros y armamento por tierra. Las distancias entre un extremo de aceros, donde se comien-

za la construcción, hasta el otro en el muelle, desde donde se sale a pruebas, son de más de dos kilómetros, suponiendo una gran pérdida de tiempo en traslados de personas y materiales. Otro de los problemas es la construcción en grada, en plano inclinado, y la limitación que impone la botadura en el nivel de terminación que puede alcanzarse. De manera que mientras que en un astillero de configuración moderna un barco se puede construir en un dique seco hasta más del 90 por 100, al hacerlo en grada es difícil superar el 75 u 80 por 100, con la consiguiente pérdida de eficiencia. Por ello, la nueva planta contempla la mejora en los dos sentidos, minimizando las distancias y construyendo en dique seco cubierto, concentrando toda la actividad en la zona disponible en el extremo noreste de la factoría.

Claro que es una obra costosa; por eso, como se hizo históricamente, lo ideal será asociarla a algún programa de envergadura, de forma que el ahorro conseguido gracias a la mayor productividad de la nueva planta permita compensar, aunque sea solo en parte, el coste de la inversión. Esta modernización del Astillero de Ferrol pondrá a Navantia en la tecnología e instalaciones propias del siglo XXI, siendo el corazón del proyecto un dique seco cubierto en la zona actual de gradas, con todos los talleres a su alrededor, de modo que la logística de movimientos sea mucho más eficiente, se construya en horizontal y sin los inconvenientes de las condiciones atmosféricas. Estas nuevas instalaciones se dotarán de todas las tecnologías clave asociadas a la Industria 4.0 y al Astillero 4.0.

Dentro de la modernización prevista, destaca también el Plan de Transformación del Astillero Bahía de Cádiz, que incluye los de San Fernando y Puerto Real, destacando la modernización de las instalaciones físicas del Astillero de San Fernando, al que se dotará de una línea automatizada y robotizada de fabricación de paneles planos con reforzado primario para adaptarlo a las demandas del mercado en cuanto a la mejora de tiempos de trabajo y de calidad. Para esta línea se optará por la adquisición de maquinaria de última tecnología, implantada ya en el proceso productivo de grandes astilleros europeos, como la soldadura láser-híbrida con bajo aporte térmico, que minimizará deformaciones.

Tecnologías habilitadoras digitales

En lo relativo a estas, el nuevo Astillero 4.0 de Navantia incorporará aplicaciones específicas de las trece tecnologías definidas en el Plan de Transformación Digital (PTD), teniendo en cuenta que el número de ellas podrá variar durante su desarrollo y el despliegue de la modernización de las instalaciones, así como de los procesos, productos y servicios. A continuación, se revisarán los principios de aplicación de cada una de estas tecnologías digitales:

Cobots en el Taller de Tubos.

— *Robótica y automatización*. Constituye uno de los puntos débiles de la construcción naval internacional en general y de Navantia en particular. Cuando se comprueba que en una fábrica de automóviles, con una plantilla de 6.000 personas, existen del orden de 1.400 robots (uno por cada cuatro personas), mientras que en un astillero la cifra habitual es inferior a diez para una plantilla similar, ya da una idea del atraso de los procesos de nuestro sector naval. Por ello y antes de llegar a la robotización colaborativa propia de la 4RI, es preciso robotizar procesos que actualmente se desarrollan manualmente.

El foco, por tanto, se está poniendo en la robotización de procesos que resultan importantes en la construcción de buques militares de superficie, tipo corbeta y fragata. Estos procesos están principalmente relacionados con el acero y la base del prearmamento, no existiendo soluciones comerciales en el mercado, debido a que la importancia del prearmamento en buques mercantes no es muy alta y también a que la soldadura de elementos pequeños para el prearmamento requiere requisitos muy diferentes a la tradicional del acero en la construcción naval. Por ello, y teniendo en cuenta la importancia del prearmamento en los costes de fabricación de buques tipo corbeta y fragata (aproximadamente 60 por 100) y el hecho de que más del 80 por 100 de los paneles de cubierta, mamparo y forro sean planos, el esfuerzo de robotización está centrado principalmente en la robotización y automatización de paneles planos que incluyan no solo los refuerzos estructurales y los elementos transversales, sino también todo el «piecerío» necesario para el prearmamento de los paneles (metopas para polines, elementos eléctricos o soportes de tubos y canalizaciones, penetraciones para tubos, cables y/o conductos de ventilación, etcétera).

Adicionalmente, el foco está también puesto en la aplicación de *cobots* (robots colaborativos) en diversos talleres para la mejora de la productividad de procesos manuales en la actualidad, en la aplicación de robots integrados en estructura tipo pórtico para la soldadura de unidades abiertas y en el desarrollo de RPAs (robots *software* aplicados a procesos administrativos), principalmente para áreas corporativas (financiero, asesoría jurídica, etc.) y también para algunos casos

repetitivos concretos de Ingeniería de Diseño/Ingeniería de Producción y de Aprovisionamientos.

— *Modelado y simulación (M&S) de procesos*. Esta tecnología, aplicada a procesos productivos discretos, constituye otro punto débil de la empresa, si bien desde 2015 se está iniciando dentro del ámbito de la UMI. Los planes actuales pasan por incorporarla como herramienta de uso diario en las áreas de Ingeniería de Producción, Gestión de la Producción y en la Gestión de los Talleres de los tres astilleros de Navantia, con el fin de planificar debidamente los trabajos en cada momento y ser capaces de reaccionar a situaciones imprevistas o de variación de carga de trabajo. Este objetivo conlleva la formación específica de personal de los departamentos mencionados, tanto en la tecnología como en las herramientas específicas, siendo de gran ayuda el apoyo de la Academia.

Robots integrados en el pórtico para la soldadura de unidades abiertas. (Astillero Bahía de Cádiz).

M&S de procesos discretos.

Adicionalmente y aunque fuera del concepto de los procesos discretos, en Cartagena se está desarrollando un proyecto de M&S de procesos de soldadura —en colaboración con el Centro Tecnológico AIMEN— capaz de predecir deformaciones producidas en paneles por efectos del calor, junto con los proyectos MANREP y CURTEDEF sobre simulación del comportamiento de aceros especiales en condiciones extremas de presión, y en la Dirección de Ingeniería en Madrid, a través de la Cátedra Romero Landa con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, se trabaja también en diversas líneas de M&S: resistencia

global y vida en fatiga del buque bajo diferentes comportamiento de la mar, respuesta de la planta eléctrica en diversos escenarios de operación, prestaciones hidrodinámicas de hélices y comportamiento en la mar de carenas y maniobrabilidad de buques. El proyecto UNDEX utiliza simulaciones numéricas avanzadas para resolver problemas de choque en los buques, y el VIBRAFOR predice la respuesta de estructuras navales sometidas a vibraciones forzadas.

Impresora 3D de Navantia. (Astillero de Puerto Real).

— *Impresión 3D*. Esta tecnología viene desarrollándose desde 2016 en el Astillero Bahía de Cádiz, conjuntamente con la UCA, y ya se empieza a obtener frutos, como el de la primera pieza fabricada en Navantia en una impresora 3D e instalada en un buque en fase de construcción (superpetrolero *Suezmax* construido en el Astillero de Puerto Real). El plan actual pasa por definir piezas que puedan ser realizadas por impresión 3D en los próximos programas de la empresa (corbetas para Arabia Saudí, fragatas *F-110*, etc.). Para ello se vienen realizando planes de Inserción de Tecnologías dentro de los programas con el fin de minimizar riesgos.

— *Internet de las Cosas*. El IoT es uno de los paradigmas clave en la Industria 4.0 y, actualmente, uno de los de más rápida expansión, siendo además imprescindible en el desarrollo del gemelo digital. Aunque no se usaba esta terminología, los buques de Navantia utilizan esta tecnología desde hace tiempo: una *F-100* lleva del orden de 20.000 sensores y actuadores integrados en el Sistema Integrado de Control de Plataforma (SICP). Lo que también es cierto es que en las instalaciones de nuestros astilleros, la sensórica es, actualmente, prácticamente nula. Desde hace dos años y dentro del ámbito de la UMI, Navantia viene desarrollando un proyecto piloto de IoT en el Taller de Prearmamento núm. 2 del Astillero de Ferrol. Los planes actuales pasan por arrancar algunos otros proyectos piloto en la empresa (como el previsto de Supervisión de la Producción en los Talleres de Aceros del Astillero de Puerto Real, SISPRO) y desarrollar la tecnología al máximo para su vasta aplicación en los talleres de la empresa.

— *Big data y analítica*. Esta tecnología es reciente y Navantia tiene poca experiencia por el momento. Los planes actuales pasan por el desarrollo pleno de la tecnología, dentro del PTD, para poner en valor nuevos

modelos de negocio basados en la explotación de datos, que ya están dando lugar a una nueva línea de productos de mantenimiento inteligente que permitirán identificar y predecir fallos con suficiente antelación y actuar antes de que se produzcan.

— *Vehículos autónomos*. Esta tecnología dispone ya de una cierta madurez y comienza a haber algunas aplicaciones comerciales. En Navantia se viene trabajando principalmente dentro del ámbito de la UMI y existen proyectos concretos de aplicación de vehículos autónomos para inspección y medición de espesores en el interior de tanques de carga (aplicación al Área de Reparaciones) y para inventariado automático de almacenes (combinando posiblemente esta tecnología con la de identificación por radiofrecuencia, RFID).

  Por otra parte, el empleo táctico de vehículos autónomos en sus versiones de superficie, aérea y submarina desplegados desde plataformas navales nodrizas constituye una de las líneas de mayor interés para el buque del futuro. El tema está previsto que se trabaje en el ámbito de la UIC, tanto con vehículos autónomos de superficie (en base al proyecto previo de I + D + i, CITIUS) como con vehículos autónomos aéreos y submarinos, para prestar servicios en la fase de construcción e inspección de buques.

  Los planes actuales pasan, por tanto, por la aplicación de esta tecnología en los casos de uso descritos y en otros, que se irán concretando con el desarrollo del PTD.

— *Inteligencia artificial (IA)*. Es reciente y Navantia tiene poca experiencia por el momento. Tal vez el único caso de aplicación de la tecnología sea la actuación en desarrollo en el ámbito de la UMI sobre sistemas autorreconfigurables. Los planes actuales pasan por su desarrollo pleno, dentro del PTD, para su utilización en diversos usos en los que serán aplicables los algoritmos de IA.

— *Nuevos materiales*. Esta tecnología, aunque no es propiamente digital, se ha incluido debido al elevado impacto potencial en la construcción naval que supondrá la sustitución de metales convencionales por otros con propiedades superiores en cuanto a reducción de peso, resistencia mecánica, corrosión, desgaste, comportamiento, conductividad eléctrica y calorífica, reducción de firmas electromagnética y acústica, protección balística, etc. Nos referimos al empleo de grafeno, materiales cerámicos, nanomateriales, composites, fibra de carbono, híbridos, aleaciones de alta resistencia, etc. Se han incluido también algunos otros temas relacionados con las uniones, como soldaduras híbrida y láser y utilización de adhesivos en la construcción de buques.

  En Navantia se viene trabajando en algunos de estos temas, en general, como proyectos de I + D + i. Así, el proyecto CMB, desarrollado conjuntamente entre Cádiz, Madrid y Ferrol, mejora la protección

balística de las superestructuras, aplicando nuevas aleaciones de acero y materiales no metálicos. Igualmente, el Astillero de Cartagena, en colaboración con la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), trabaja en el proyecto MABSORB II sobre materiales absorbentes y aislantes acústicos, y en el SUPERSUB sobre superestructuras en materiales compuestos.

— *Ciberseguridad*. Se viene trabajando en Navantia en los últimos años y en la actualidad se han redoblado los trabajos, tanto en el ámbito de la UMI como en el marco del programa de las *F-110* y en el desarrollo del PTD.

— *Nube*. Esta tecnología es reciente y Navantia tiene poca experiencia por el momento. Los planes actuales pasan por el desarrollo pleno de la tecnología, dentro del PTD, para poner en valor nuevos modelos de negocio.

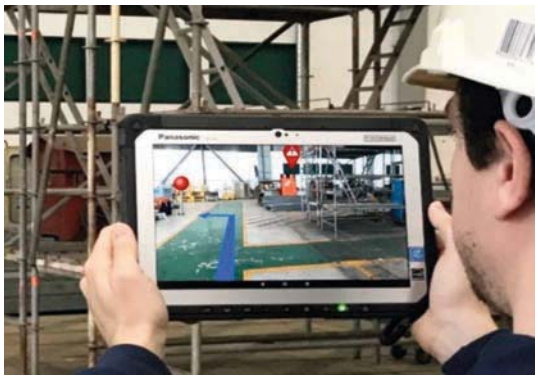
— *Plataforma digital*. Navantia lleva ya varios años desplegando y desarrollando el PUMA (Proyecto de Unificación de Modelos de Astilleros) en todos sus centros como su Sistema de Información principal, integrando las herramientas de CAD (Foran), PLM (Windchill) y ERP (SAP). Por otra parte, la empresa realizó proyectos piloto con varias soluciones MES (*Manufacturing Execution System*) en 2017, decantándose por la herramienta de SAP, que ya está en proceso de implantación en la Fábrica de Motores de Cartagena, y que tiene previsto su despliegue en diversos talleres de los astilleros.

  Actualmente, también se está en fase de análisis de distintas plataformas disponibles en el mercado para dar soporte, entre otros, a: IoT, gemelo digital, integración de la cadena de suministro, *big data & analytics*, Inteligencia Artificial y/o Blockchain. Asimismo, ya se están realizando los pilotos de IoT antes mencionados con la plataforma Thingworx de PTC.

  Los planes actuales pasan por completar los diversos proyectos piloto y definir el conjunto de plataformas a instalar en cada astillero/fábrica.

— *Realidad virtual, aumentada y mixta*. En el campo de la realidad virtual, Navantia viene trabajando con *powerwalls* y estereoscopía 3D desde el año 2004 en Ferrol. Actualmente dispone de esta tecnología también en sus centros de Cartagena (2011) y Adelaida (2017). Asimismo, dentro del ámbito de la UMI, se está actualmente trabajando con gafas de realidad virtual (*oculus rift*) en las actuaciones de Modelado y Simulación (M&S). En cuanto a la Realidad Aumentada (RA) y a la Realidad Mixta (RM), tecnologías de madurez mucho más reciente, se está trabajando con la UDC, dentro del ámbito de la UMI, con el CIS-Galicia y con la empresa PTC, tanto con *tablets* como con gafas de RA (*Epson Moverio*) y de RM (*Microsoft Hololens*). Hay diversos pilotos en Curso de Guiado en Almacén, Automantenimiento

de Curvadoras de Tubos, Teleasistencia e Integración del Modelo 3D de Foran para apoyo a fabricación y montaje.
Los planes actuales pasan por completar los proyectos piloto en curso e ir integrando estas herramientas en la vida de los talleres y de la construcción del buque.



Aplicación de realidad virtual.

— *Blockchain*. Esta es la última tecnología incorporada en el modelo de Astillero 4.0 de Navantia, por lo que no existen aplicaciones a día de hoy. Su utilización permitirá asegurar las transacciones digitales mediante algoritmos distribuidos en red que habilitarán el intercambio de información con trazabilidad y eliminando intermediarios. Está recogida en el PTD y los planes actuales contemplan su utilización principal en áreas corporativas, como Financiero y Asesoría Jurídica.

Líneas de trabajo

Además de la modernización de las instalaciones y de la aplicación directa de las tecnologías habilitadoras digitales a las áreas de transformación de la empresa, existen otras líneas de trabajo ligadas a estas (en general, incluyendo varias de ellas) que suponen un tratamiento metodológico similar y que también forman parte del PTD. Entre ellas, destacan los siguientes:

— *Trazabilidad y tratamiento de productos inteligentes*. Navantia viene trabajando en el tratamiento de productos inteligentes desde 2016 en el ámbito de la UMI. Como resultado se ha presentado patente para una solución de localización inalámbrica para la monitorización remota de la posición de cualquier producto del buque de forma precisa. Esta solución permitirá la localización de elementos y componentes en talleres durante la fabricación y montaje, a bordo en las fases de terminación y pruebas, dentro de las instalaciones de los proveedores y colaboradores externos y también durante el transporte de los componentes al astillero. Los planes actuales pasan por aplicar la tecnología y solución patentada en todos los astilleros de Navantia, implantando

Tratamiento de productos inteligentes en el Taller de Tubos.

inicialmente esta solución tanto para el proyecto SITRAS (Sistema de Trazabilidad de elementos del Astillero) en el Astillero de Bahía de Cádiz, como para el de geolocalización previsto en el Área de Reparaciones.

— *Logística (externa e interna)*. Las actividades logísticas se producen a lo largo de toda la cadena de suministro, desde los proveedores de nuestros proveedores hasta nuestros clientes (logística externa), pasando por el interior de la empresa (logística interna). Un flujo logístico rápido y flexible es fundamental de cara a la consecución de la competitividad sostenible. Las principales líneas de actuación se basan en los siguientes pilares básicos de Astillero 4.0:

- *Concentración* de la empresa en el *core business* logístico (estrategia) y *outsourcing* de la parte operativa a través de un operador logístico integrado virtualmente.
- *Integración horizontal* de todas las actividades logísticas, ahora fragmentadas, proporcionando una visión y gestión global de todo el flujo logístico.
- *Integración vertical*, a través de la sensorización individual y masiva de todos los elementos integrantes del flujo logístico (materiales, activos, lugares, etc.), aprovechando las iniciativas ya en marcha.
- *Robotización y digitalización* de las actividades logísticas.

— *Gemelo digital y buque inteligente*. Como bien se explica en el artículo sobre Industria 4.0 publicado en este mismo número de la REVISTA, el gemelo digital (GD) como concepto es, básicamente, una réplica digital fiel de alta resolución de una entidad real en su sentido más amplio (funcional, de naturaleza, condición de estado, integridad o salud, degradación, etc.) en el tiempo. La aportación de valor de su desarrollo estriba en las oportunidades de explotación de esta interacción entre el producto real y el digital en forma de sistema ciberfísico (CPS).

Navantia ha iniciado la puesta en marcha de las bases de su Hoja de Ruta para la tecnología de gemelos digitales, que abarca desde sus

productos navales con sus sistemas a las propias infraestructuras y plantas soporte de los procesos y actividades productivas. La fusión de ambos mundos, real y digital, permite que estas entidades cobren nivel de inteligencia optimizando su comportamiento y experiencia de uso de las personas involucradas en los procesos, bien sean operarios o usuarios finales de los productos elaborados.

En el ámbito tanto de los buques como de las plantas productivas se abren posibilidades de mejora de la productividad y calidad de los procesos, estableciendo un entorno colaborativo entre los elementos componentes de los buques inteligentes de nueva generación y la planta inteligente. Para el cliente y usuario de esta tecnología se incrementa el valor de estos productos al disponer de una mayor capacidad de explotación y optimización de operación de los mismos en los diferentes ámbitos de su ciclo de vida (arsenal, flota, etc.).

El seguimiento de la evolución durante la operación a lo largo de su ciclo de vida beneficia a la propia operación, a los servicios asociados e incluso al cierre o realimentación al diseño del comportamiento real en términos de mejora o evolución como desarrollo de línea de producto.

La tecnología de buques o productos inteligentes debe ser coherente y armónica con el desarrollo de la tecnología de gemelos digitales para avanzar de forma progresiva y escalonada hacia un horizonte ideal con diferentes ecosistemas inteligentes en los que estos buques están inmersos. Esta integración propia del buque inteligente abre oportunidades tanto para el astillero constructor (Astillero 4.0) como al propietario (Arsenal 4.0), al usuario operador y mantenedor (Flota/Arsenal 4.0) y a la cadena de suministro (Cadena de Suministro 4.0).

La evolución de esta tecnología en Navantia está determinada en la Hoja de Ruta, siendo la fragata *F-110* para la Armada el principal y primer proyecto tractor que implementará esta tecnología del siglo XXI. La optimización del sostenimiento de las unidades es uno de sus principales atractivos, pero no lo serán menos los relacionados con el servicio, el alistamiento y la propia misión. Como todo salto tecnológico, la aproximación debe ser evolutiva, priorizando aquellos casos de uso de mayor interés en cuanto a valor y riesgos; de ahí que sea necesaria una estrategia de inserción tecnológica pensando en la *F-110* como primer buque 4.0 de la Armada.

— *Sostenimiento inteligente*. La aplicación de distintas tecnologías habilitadoras digitales posibilita ofrecer servicios digitales de apoyo al ciclo de vida del buque y sus equipos desde las fases iniciales hasta su cese.

Tradicionalmente, los datos se han utilizado para proporcionar control sobre el producto al cliente, y, actualmente, gracias a estas tecnologías digitales, el análisis de datos permite al cliente operar su activo de

forma eficiente y segura, aumentando su disponibilidad, mejorando su rendimiento y optimizando sus costes de sostenimiento.
Para realizar un sostenimiento inteligente, es necesario ser capaz de:

- Monitorizar y ofrecer control remoto integrado de equipos y sistemas de distinta naturaleza que forman el buque.
- Monitorizar la salud de los equipos y sistemas del buque (plataforma, sistemas de combate, navegación y armas).
- Ofrecer soluciones de eficiencia energética (optimización del consumo de combustible).
- Reducir emisiones a la atmósfera.
- Predecir el comportamiento de los equipos y sistemas.
- Gestionar las acciones de sostenimiento necesarias.
- Proporcionar adiestramiento a la dotación y simulación (operación de equipos, navegación del buque y coordinación entre unidades y personas).

En la actualidad, Navantia está desarrollando una plataforma con una base de datos única para la ingesta de datos, su almacenamiento, modelado y análisis que, junto al desarrollo de aplicaciones específicas con tecnología común e interfaz de usuario homogénea, de apoyo a la toma de decisión y permita a cada usuario (dotación, armador, mantenedor…) gestionar sus necesidades de forma coordinada entre los distintos interesados.
Dentro del desarrollo de las líneas de trabajo relacionadas con las tecnologías digitales, mencionar la intensa colaboración llevada a cabo con la Armada a lo largo de 2017 en el marco de la Instrucción para el nuevo Concepto de Apoyo Logístico, a través de grupos de trabajo específicos sobre arquitectura global del concepto, definición de la maqueta digital y evolución del CESADAR/Apoyo Logístico 4.0.

Plan de Transformación Digital (PTD)

Ya en el último trimestre de 2017, Navantia puso en marcha la elaboración de un Plan de Transformación Digital (PTD), con el apoyo de un consultor de primer nivel. En junio de 2018 quedó finalizada la propuesta desarrollada en colaboración con ACCENTURE y se puso en marcha su implementación orientada hacia el horizonte de 2025 y sirviendo como pilar al PEN. Este PTD se basa en la reconocida experiencia del consultor y en los estudios desarrollados por Navantia a partir de las jornadas celebradas en Los Peñascales en diciembre de 2014, que permitieron la presentación del concepto Astillero 4.0 en las Jornadas Tecnológicas de la Armada de septiembre 2015 y en la aproba-

Plan de Transformación Digital (2018-2025).

ción de la correspondiente política de la empresa en diciembre del mismo año.

El PTD se estructura en seis líneas de actividad: Productos y Servicios Inteligentes (los propios buques y el ACV tras la entrega), Fábrica Inteligente (los astilleros y fábricas en los que se construyen y se consiguen las mejoras en plazo, coste y calidad), Operaciones 4.0 (los procesos de ingeniería, compras, producción y de soporte que permiten materializar las mejoras), Procesos Corporativos 4.0, Personas y Cultura 4.0 y Arquitectura Digital (las herramientas que soportan todas las líneas anteriores).

El PTD tiene un contenido integral, cuyo objetivo es llegar a todas las áreas de la empresa y proyectarse a toda la cadena de valor (cadena de suministro y clientes). El plan intenta también desarrollarse contando con la colaboración de todas las partes externas interesadas: administraciones, entidades educativas, sindicatos, colegios y asociaciones profesionales, centros tecnológicos y clústeres de sectores afines. Este ámbito tan extenso se traduce en una gran complejidad. Además, en el marco del PEN y como ya se ha indicado, la transformación digital se une con la modernización de algunos centros de producción en los que se van a desarrollar programas concretos, configurando un marco amplio que denominamos el Astillero 4.0 de Navantia.

El concepto Astillero 4.0 señala que para que la transformación digital sea eficaz se debe partir de una base operativa robusta. La situación de partida de Navantia no puede considerarse que cumpla suficientemente este requisito, como muestra su curva de resultados que, además de la subactividad por falta de contratos, recoge el impacto negativo de la ejecución de varios programas en los distintos astilleros. Además, la puesta en marcha del sistema operativo TIMON, que es conceptualmente muy potente, aún no se ha traducido en resultados suficientes. Y lo mismo sucede con la aplicación de técnicas de Mejora Continua, cuya eficacia intrínseca está ampliamente demostrada.

Por ello, la implementación del Astillero 4.0 de Navantia requiere combinar las acciones que corresponden a la transformación digital propiamente dicha con otras que tienen que perseguir el objetivo de superar las debilidades operativas de la empresa, continuando las actuaciones identificadas en TIMON y en el Plan de Mejora Continua.

Este plan arranca en el mes de junio de 2018 y se extiende hasta 2025, incluyendo tres fases en el tiempo: visiones 2018-19, 2020-22 y 2023-25. En el primer período se trabajarán principalmente aspectos relacionados con la

captura y visibilidad de la información (*control tower*), trabajador conectado, integración de la cadena de suministro y automatización de procesos administrativos. En el segundo, se abordarán principalmente aspectos relacionados con planta robotizada, soluciones analíticas avanzadas, servicios de gemelo digital y *smart contracts*. Por último, en el correspondiente a 2023-25 se incluirán principalmente aspectos relacionados con buque autónomo e impresión 3D de bloques.

Fases previstas del PTD.

Para el desarrollo del PTD, Navantia ha creado un Equipo A4.0 de treinta personas, que coordina el Centro Tecnológico, con representación de todas las direcciones funcionales y operativas de la empresa, así como de todas las áreas geográficas, y que será responsable de la implementación del plan y de la comunicación aguas abajo. Este Equipo A4.0 lo dirige un Comité Director 4.0. De igual modo, Navantia ha creado equipos específicos para cada una de las tecnologías habilitadoras digitales y de las líneas de trabajo (más de sesenta personas en total) que desarrollarán las iniciativas de detalle del PTD.

Estos dos equipos contarán también para el ejercicio de su misión con los previsibles medios adicionales, correspondientes tanto a la UMI consolidada (Navantia con la UDC y el apoyo de la Xunta de Galicia para el período 2018-21) como a la equivalente UIC (Navantia con la UCA y la Junta de Andalucía) y al Centro de Fabricación Avanzada (CFA), promovido por la Junta de Andalucía y en el que está previsto que dispongan de equipamiento tecnológico de última generación, en un entorno similar al de sus plantas de producción, para el desarrollo de tecnología y prototipos de rápida transferencia al tejido productivo.

Un paseo por un posible Astillero 4.0 de Navantia

No cabe duda de que en un plazo de alrededor diez años Navantia se habrá convertido en una empresa digital como resultado de haber implementado el PTD y, al tiempo, habrá modernizado las instalaciones físicas de sus astilleros y fábricas.

En este punto, se tratará de describir cómo podría ser el aspecto y funcionamiento de un Astillero 4.0 de Navantia (el de Ferrol, a modo de ejemplo

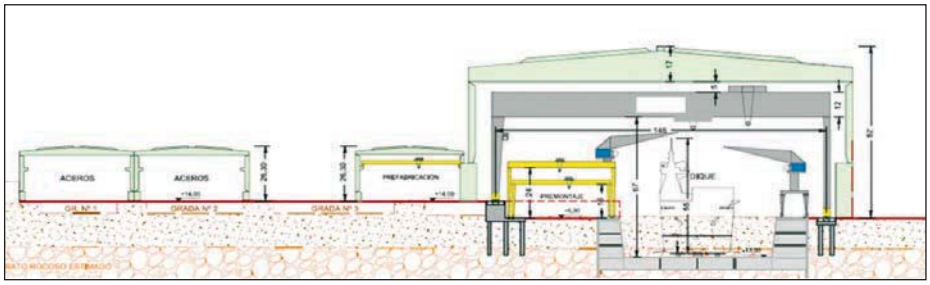
específico) en el período 2025-30, aun a pesar de poder cometer alguna imprecisión o error.

En el entorno de diez años, podría ser un astillero con:

— Una planta moderna y compacta, cuyos elementos diferenciadores en la construcción sean unos talleres altamente robotizados y un dique seco cubierto para la fabricación del buque.
— Una ingeniería de diseño robusta y flexible que oriente el diseño a la producibilidad del astillero, que integre de forma extensiva el trabajo de las empresas colaboradoras y la información de los proveedores y que cree y gestione los servicios del gemelo digital del producto.
— Una ingeniería de producción que utilice tecnología de Modelado & Simulación para planificar los trabajos de fabricación y que cree y gestione el gemelo digital de la planta y los procesos.
— Una torre de control que capture y dé visibilidad a la información propia y de las empresas colaboradoras y proveedores a través de plataformas digitales colaborativas y de tecnología RFID, y en el que las personas sean las que den sentido a la innovación y ejecución eficiente de los programas.

Entrando en detalle en el significado del párrafo anterior, a continuación se explican algunos de los conceptos más importantes, sin pretender ser exhaustivos:

— *Modelo global*. El Astillero 4.0 de Navantia será un centro global que aglutine solamente funciones *core* (Ingeniería de Diseño y ACV, compras, Ingeniería de Producción/Planificación, logística y procesos *core* de producción) e integre eficientemente toda la cadena de suministro (proveedores y empresas colaboradoras).
— *Ingeniería de Diseño*. Desarrollará el proyecto de detalle de los buques siguiendo la Ingeniería de Sistemas de acuerdo con el sistema TIMÓN; producirá modelos 3D y de comportamiento funcional de las



Sección del Área de Aceros del Astillero 4.0 de Navantia (Ferrol).

diferentes zonas/bloques/subbloques del buque, que servirán para la generación posterior del gemelo digital del producto; generará la información y las bases de datos necesarias para la preparación de órdenes de trabajo en el sistema PUMA, teniendo en cuenta que el elemento fundamental de la fabricación será el subbloque prearmado; integrará los requisitos logísticos desde las primeras etapas del diseño, tanto en los planos funcionales como en los modelos 3D/gemelo digital del producto a las empresas colaboradoras y a los proveedores del programa, y orientará el diseño para facilitar la fabricación de componentes en impresoras 3D.

— *Ingeniería de Producción*. Modelará los procesos productivos de acuerdo a los recursos del astillero y las necesidades de los programas para desarrollar la estrategia constructiva (conceptual y de detalle) óptima para la fabricación del buque; generará las órdenes de trabajo de los diversos procesos a partir de los modelos 3D en el sistema PUMA; desarrollará la planificación de detalle de la construcción utilizando herramientas de M&S, generando el gemelo digital de los procesos, y realizará el seguimiento de la planificación junto a los responsables de los diversos procesos de fabricación.

— *Aprovisionamientos/integración horizontal*. El Astillero 4.0 de Navantia integrará la cadena de suministro, que es responsable del 75 por 100 del coste del buque, siguiendo los principios indicados en el artículo sobre Industria 4.0 publicado en este mismo número de la REVISTA. La integración será tanto para los proveedores como para las empresas colaboradoras y se producirá en las fases de diseño y producción y durante el ciclo de vida de los buques. En resumen, la contribución de la cadena de suministro será tan importante como la propia de Navantia en el éxito del Astillero 4.0.

— *Logística*. La logística 4.0 será adaptativa y autoorganizada con las personas al mando en la parte estratégica, planificando, monitorizando y controlando todo el flujo logístico a través del gemelo digital de la planta y con una parte operativa totalmente robotizada/automatizada con muy poca intervención humana.

— *Planta inteligente/torre de control*. El Astillero 4.0 de Navantia dispondrá de una planta inteligente, conformando un espacio industrial ciberfísico en el que se desarrollará la construcción y reparación de buques, artefactos navales, elementos propulsores y sistemas de modo inteligente. Para ello, la planta tendrá su gemelo digital, que incluirá las infraestructuras físicas, edificios, talleres, equipos, maquinaria y servicios.

  La planta será un sistema que proporcione los medios para la ejecución de los procesos propios de la producción, es decir, de los de transformación de materiales, componentes y productos intermedios

hasta la obtención de un producto integrado (fabricación y ensamblado), así como los necesarios para la verificación y validación de los mismos (pruebas).

El gemelo digital permitirá el control, monitorización, simulación y actuación a través de un centro de control (*control tower)* que centralizará todos los sistemas y subsistemas. Será el punto neurálgico (corazón) de los procesos y operaciones de la planta y estará interrelacionado y conectado también con los otros centros de la empresa.

Los sistemas integrados en el centro de control de la planta serán:

- Infraestructuras canalizadas: redes eléctricas, aire, combustibles, gases y fluidos, así como las estaciones y subestaciones que las distribuyen con sistemas automáticos e inteligentes cada vez más eficientes y limpios energéticamente.
- Equipos y maquinaria sensorizados y conectados para realizar un mantenimiento predictivo que permita su funcionamiento 365/24/7 sin interferencia en los procesos productivos y adecuándolos a la planificación establecida.
- Infraestructuras fijas: edificios y talleres inteligentes que incluirán dispositivos y vehículos autónomos AGV, buscando la seguridad y el bienestar de las personas, así como la eficiencia energética, energías limpias y cero emisiones.
- Sistema con Mantenimiento Predictivo mediante la sensorización de la maquinaria e integrado en SAP PM con tecnología digital, órdenes de trabajo en dispositivos digitales (sin papel) y aplicación de realidad virtual para el mantenimiento correctivo.

El «sistema» Planta del Astillero 4.0 de Navantia estará formado por el conjunto de subsistemas anteriores y tendrá su propio ciclo de vida, desde diseño a reciclado, que se ha de sostener (actualizar) en paralelo al propio ciclo de vida de las familias de productos para las cuales se ha concebido.

— *Área de Fabricación de aceros*. Esta área, que vertebra el proceso de construcción del buque en el Astillero 4.0 de Navantia, podría tener la siguiente disposición en planta, integrando las capacidades digitales que se muestran en esta visión virtual: el proceso podría comenzar con una Línea Robotizada de Paneles Prearmados (LRPP), a la que le llegarían, mediante TICs, los ficheros de los sistemas CAD de diseño y que iría incorporando perfiles que den refuerzo estructural a los paneles que conforman cubiertas, mamparos y forros.

Una vez realizada la soldadura robotizada de los elementos de refuerzo, se pasaría a la siguiente estación, con marcado, incorporación y posterior soldeo de elementos de calderería por robots, bien con capa-

cidad versátil o, más probablemente, individualizada, que incorporarán medios robotizados para verificación del proceso de soldadura y su posterior envío a la torre de control para completar los correspondientes registros de calidad. Estos elementos de prearmamento serán transportados por AGV, e incorporarán, cada uno de ellos, un *tracking* que indique fase del proceso y geolocalización para su seguimiento desde la torre de control de procesos (tecnología TagWAN).

La siguiente estación sería de subbloques abiertos, estando sensorizada para enviar datos en tiempo real al gemelo digital de la planta, que conocerá el grado de saturación, cuellos de botella, estado de operatividad de máquinas, servicios y robots. Esta información se enviará también a la torre de control con objeto de tomar las decisiones necesarias en el proceso de producción.

A continuación, los subbloques entrarían en cabinas de pintado robotizadas, con chorreo robotizado solo en cordones de soldadura y aplicando esquemas de pintado con elementos robotizados. Una vez terminada la operación, los subbloques se transportarán en plataformas móviles autónomas (AGV) videoguiadas hasta el área de premontaje de bloques para su posterior ensamblaje en un área cubierta del dique seco.

— *Arquitectura digital*. En cuanto a la arquitectura que utilizará el Astillero 4.0 de Navantia en el entorno de 10 años está aún por determinar y a continuación se explica el por qué y las opciones más probables.

A lo largo de este artículo y del de Industria 4.0 publicado en este mismo número, se pone de relieve que la construcción naval, al igual que otros sectores industriales, evoluciona hacia un modelo de negocio de complejidad creciente y está sometido a continuos cambios tecnológicos que afectan a la comunidad de actores implicados, sus organizaciones, operaciones, productos y servicios, dando lugar a nuevos modelos de negocio.

Para sobrevivir a este entorno de complejidad y cambio continuo, Zachman (1987) fue uno de los primeros autores que propuso utilizar arquitecturas de referencia empresariales (*enterprise architecture frameworks*) que sirvan como marco de referencia estándar sobre el que construir e integrar los procesos empresariales y como estructura para la descripción y desarrollo de los sistemas de información empresarial que les dan soporte durante el ciclo de vida.

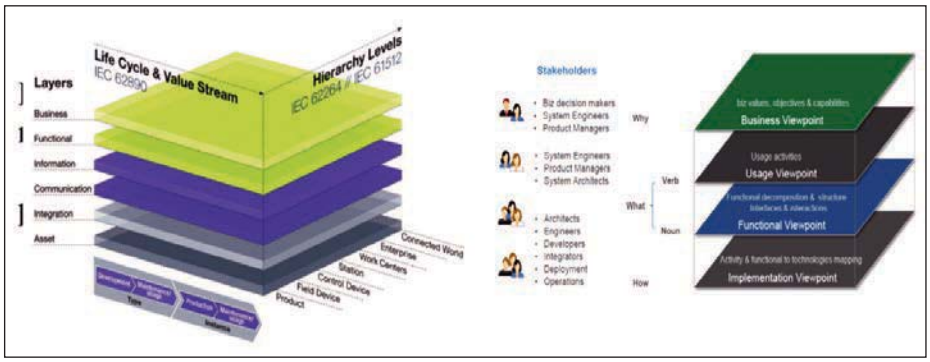
Reconocida la complejidad del modelo Industria 4.0, se hace necesario que todos los agentes que cooperan en la cadena de valor hagan un esfuerzo para crear un modelo común de arquitectura de referencia 4.0 basada en una misma estructura y lenguaje. Es fundamental acordar normas y estándares para las estructuras de datos, las aplicaciones y sus servicios *software* que permitan el intercambio de información

entre todos los miembros de la cadena de valor. Con todo ello, se facilita la integración de módulos procedentes de distintos fabricantes, el crecimiento de los sistemas de información y su actualización tecnológica por obsolescencia.

Para la definición de la arquitectura de referencia Industria 4.0, actualmente conviven diferentes iniciativas internacionales. Por un lado, asociaciones profesionales y organismos de normalización de distintos países se han puesto como objetivo acordar a medio plazo una arquitectura bajo un estándar abierto independiente de fabricantes. En esta categoría destaca la RAMI 4.0 *(Reference Architectural Model for Industrie 4.0)*, promovida por la plataforma alemana y recogida como modelo en la DIN SPEC 91345, que parte de estándares ya en uso muy extendido, como la norma IEC 62264/ISA 95, que es ampliada para integrar la fábrica inteligente con el producto inteligente y con el mundo conectado a lo largo de todo el ciclo de vida. China está desarrollando la denominada IMSA *(Intelligent Manufacturing System Architecture)* que, por lo que se conoce, ofrece aspectos comunes con RAMI 4.0.

Al otro lado del Atlántico, en Estados Unidos, el consorcio industrial Internet está desarrollando la IIRA *(Industrial Internet Reference Architecture)*, adoptando los conceptos de la especificación estándar ISO 42010, tales como aspectos de interés *(concerns)*, partes interesadas (*stakeholders*) y puntos de vista (*views*). Existen grupos de trabajo para alinear estas dos últimas arquitecturas con la RAMI 4.0 y asegurar su futura interoperabilidad.

En paralelo, y a la espera de que se consoliden los estándares abiertos anteriores, las grandes empresas de TI están promoviendo arquitecturas propietarias asociadas a sus plataformas IoT industriales. En este



Estructura de la arquitectura de referencia RAMI 4.0 (DIN SPEC 91345).

Agentes y vistas de la arquitectura de referencia IIRA.

grupo, destacan Hana de SAP, Thingworx de PTC, Predix de General Electric y MindSphere de Siemens.

Partiendo de esta realidad y viendo con optimismo los avances hacia la convergencia de los estándares abiertos, aún en fase de desarrollo, se ha incluido la definición de la arquitectura del Astillero 4.0 de Navantia entre las tareas prioritarias del PTD. Para ello se seguirán los criterios indicados en la doctrina alemana para que una arquitectura sea válida para Industria 4.0: consistencia digital, seguridad informática, universalidad, flexibilidad, capacidad de proporcionar servicios inteligentes y capacidad de transformación.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento sincero a todas las personas que con su trabajo han contribuido al desarrollo del concepto Astillero 4.0 de Navantia, y en especial a Francisco Abad, Carlos Blanco, Vicente Blasco, Laura Correa, Manuel Ángel Díaz, Rubén Ferreiroa, Fernando Formoso, Fernando Gamboa, Manuel Iglesias y Juan Ignacio Silvera por su visión anticipada del futuro Astillero 4.0 de Navantia. También y de forma especial, queremos expresar nuestro reconocimiento a Ángel Recamán, *alma mater* del desarrollo del Astillero 4.0 de Navantia.

ANEXO 1

LA UMI UDC-NAVANTIA, «ASTILLERO DEL FUTURO»

En 2015, mientras Navantia comenzaba a desbrozar los conceptos de Industria 4.0 y Astillero 4.0 y teniendo en cuenta que los conocimientos en procesos no estaban a la altura de los existentes sobre temas de producto (buque y sus sistemas), se decidió no perder más tiempo y, en paralelo, acudir a la Academia en busca de conocimiento y ayuda para avanzar en el mundo de la Ingeniería de los Procesos. El contacto fue con la Univesidade da Coruña (UDC), y cuando se estaba analizando la mejor y más productiva forma de colaboración, surgió la Xunta de Galicia, a través de GAIN (Agencia Gallega para la Innovación) y de una convocatoria, dentro del marco de ayudas a la fabricación inteligente, para ayudas a un tipo especial de colaboración entre una empresa y un centro de investigación (universidad o centro tecnológico), que se denominaba Unidad Mixta de Investigación (UMI). De este modo, Navantia y la UDC enfocaron la colaboración creando una UMI, denominada «Astillero del Futuro».

UMI UDC-Navantia.

El proceso comenzó con la publicación por parte de GAIN de una convocatoria en febrero de 2015 estableciendo las bases reguladoras para la concesión, en régimen de concurrencia competitiva, de las subvenciones a organismos de

investigación de Galicia para la creación, puesta en marcha e impulso de Unidades Mixtas de Investigación (UMI). Una vez presentada la solicitud por parte de la UDC y Navantia (marzo de 2015), GAIN concedió la prestación solicitada mediante resolución en mayo de 2015, adjudicándose a organismos de investigación de Galicia para la creación, puesta en marcha e impulso de unidades mixtas de investigación. A partir de entonces, la UMI se constituyó en junio de 2015 (firma del Acuerdo UDC-Navantia) y se puso en marcha en octubre del mismo año.

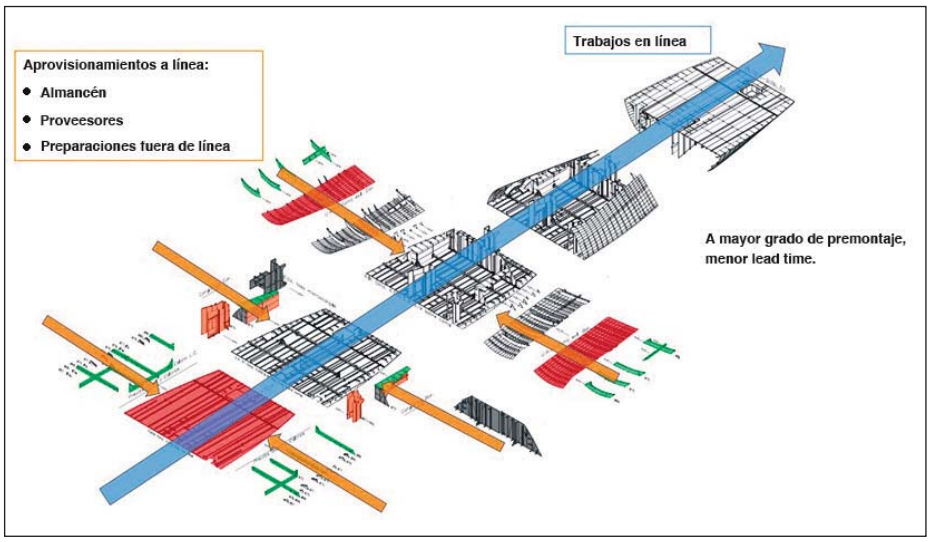
El objetivo fundamental de la UMI UDC-NAVANTIA era «el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías que permitan aumentar la competitividad del astillero, para afrontar el desafío técnico-industrial del Programa de fragatas *F-110*, mediante la mejora de los procesos productivos existentes y el desarrollo de otros nuevos, de tal forma que se incremente la productividad y se reduzcan tiempos y costes».

La UMI la componen la UDC y Navantia, gestionando la Universidad el día a día y dirigiendo la empresa el Comité de Dirección. La UMI tiene una duración de tres años (hasta octubre de 2018), que pueden ser prorrogables, y se ubica en el CIT del Campus de Ferrol, habiendo contratado hasta diecisiete ingenieros a tiempo total y ejecutando algunos subcontratos con empresas y centros de investigación, como Siemens, Universidad de Vigo, Centro de Automoción de Galicia (CTAG), Avansig, STGO, SCIO, Emetel, etc. La aportación de Navantia es de un millón de euros y el trabajo de aproximadamente cincuenta personas a tiempo parcial, mientras que la de la UDC es de 0,2 millones de euros y cuenta con el trabajo de más de 30 profesores/investigadores a tiempo parcial, y la de la Xunta es del 30 por 100 del presupuesto total. En total, en la UMI vienen trabajando algo más de cien personas.

De acuerdo con los objetivos fijados para esta Unidad, se viene trabajando desde octubre de 2015 en cinco líneas de investigación y quince actuaciones o proyectos:

— En *Optimización de Procesos* se estudia mejorar procesos de fabricación mediante tecnologías de Modelado y Simulación (M&S), aprovechamiento de la experiencia de sectores industriales más avanzados y utilización de la estadística y las tecnologías para solucionar procesos concretos de fabricación. La línea incluye seis actuaciones, de las que cabe destacar:

  - En las actuaciones de M&S se ha completado recientemente el modelo virtual agregado de las dos plantas actuales del Astillero Fene-Ferrol, optimizando en ellas la fabricación de *jackets* de eólica marina (Fene) y de la primera fragata *F-110* (Ferrol) y se trabaja actualmente en la nueva planta, de donde se espera salgan la segunda y siguientes fragatas de la clase *F-110*.



Modelización de línea de subbloques.

- En *Lecciones aprendidas del sector de automoción* se ha completado, con el apoyo de CTAG, la definición de una línea de fabricación de subbloques inspirada en los principios de la automoción, y se trabaja ahora en la definición de la logística interna necesaria para apoyar la fabricación en línea, lo que supondrá un cambio significativo en la forma de fabricar buques.
- En *Robótica y Automatización* se trabaja actualmente en un ambicioso proyecto de automatización de «paneles prearmados», con el que se fabricarán paneles con sus refuerzos estructurales y también con las metopas necesarias para la instalación de las penetraciones y todo el «prearmamento», lo que supondrá la robotización de más del 80 por 100 de los paneles de cubierta, mamparo y forro del buque.

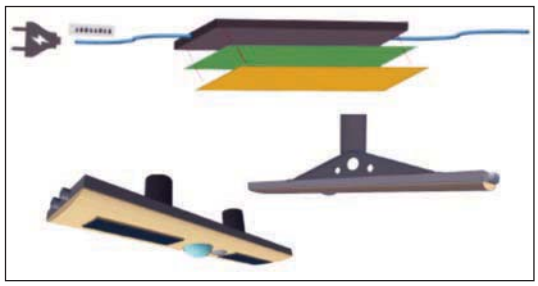
— *La línea de investigación de TIC* acerca la tecnología al puesto de trabajo poniendo a disposición del trabajador y de forma digital la información existente en los sistemas corporativos, facilitando las ventajas de la Realidad Aumentada (RA), ofreciendo la multiconectividad que da el Internet de las Cosas y posibilitando la automatización del control de operaciones y de la trazabilidad de productos inteligentes. La línea incluye tres actuaciones, de las que cabe destacar lo siguiente:

Proyecto TagWAN (trazabilidad en exterior, en buque y en bloque).

- En *Información en Planta y Realidad Aumentada* se completó el proyecto piloto de integración de un sistema MES. El éxito conseguido con este piloto llevó a Navantia a incorporar esta solución en la configuración informática en todos los astilleros y fábricas, junto a los existentes sistemas PLM y ERP. Ahora se trabaja en varios proyectos piloto de RA (guiado en almacén, localización de tubos y teleasistencia técnica), utilizando tanto *tablets* industriales como gafas de RA (*Epson Moverio*) y Realidad Mixta (*Microsoft Hololens*).
- En *Internet Industrial de las Cosas (IIoT)* se ha lanzado un proyecto piloto en el Taller de Prearmamento n.º 2 con el objetivo de validar plataformas digitales (*Thingworx* de PTC y *Leonardo* de SAP) e integrar los sistemas de Tecnologías de la Información (PLM, ERP y MES) con los de Tecnologías Operativas (SCADA, PLC y Sensores).
- En *Trazabilidad* se completó el proyecto piloto de identificación y localización de productos inteligentes en el Taller de Tubos, construyendo una solución que es capaz de procesar los datos procedentes de hasta 250.000 etiquetas activas de RFID.
  También se han puesto en marcha dos nuevos proyectos piloto, uno para analizar tecnologías RFID en interior de buques, con etiquetas activas y pasivas, y el otro es el sistema TagWAN, que es una solución de localización inalámbrica para la monitorización remota de la posición de cualquier producto del buque de forma precisa. En su implementación, se realizó un proceso de análisis, selección y prueba de tecnologías, tanto en entorno de laboratorio como en los del astillero (muelles, talleres, bloques y en el interior de un BAM en construcción). El prototipo desarrollado ha sido patentado recientemente.

— *La línea de investigación de tecnologías disruptivas para las fragatas* F-110 incorpora algunas novedades, como el concepto «sin cables», que pretende reducir en un 20 por 100 el volumen de cableado del

buque (y en el que también participa la UdeV), la utilización extensa de «adhesivos», con el apoyo del Bureau Veritas, que pretende sustituir la soldadura en todos los elementos estructurales una vez pintados, y la aplicación de la inteligencia artificial para tareas de Seguridad Interior, automatizando la doctrina de Control de Averías (buques militares) para incorporar, por primera vez en el mundo, una solución automática para sistemas distribuidos del buque, como contraincendios con agua salada y agua refrigerada, en alguna de las nuevas fra-gatas.



Sistema de Servicios Integrados.

Dentro de las actividades relacionadas con el proyecto del Sistema de Servicios Integrados (SSI) o «sin cables» —que es el nombre inicial y que aún se utiliza internamente por estar asociado al objetivo de reducción sustancial del alto volumen de cableado que se encuentra en buques como la fragata *F-110*, con un gran número de sistemas y sensores— el proyecto inicial nació en el ámbito de la UMI y tiene dos vertientes: una en el entorno de la planta eléctrica relacionada con su arquitectura, el uso de la media tensión y de elementos rígidos para la distribución en sustitución del cableado, y una segunda, que es la que da el nombre actual, se basa en la integración de múltiples sistemas «tradicionalmente independientes» en un único

Prueba con dron para inspección de superficies en el BAC *Cantabria*.

elemento que, además, es inteligente. En particular se hace uso de la presencia de luminarias/aparatos de alumbrado para desplegar, en la práctica totalidad de los locales del buque, una infraestructura de datos, conectividad inalámbrica y servicios inteligentes, incorporando además los últimos avances de ciberseguridad. Esta integración permite reducir sustancialmente el despliegue del cableado, el peso asociado y el cos-te del ciclo de vida del buque.

El desarrollo se está llevando a cabo conjuntamente con las universidades de Vigo y A Coruña, y el proyecto ha completado satisfactoriamente a principios del presente año la primera Revisión Formal del Diseño, de acuerdo con a la metodología de Ingeniería de Sistemas utilizada, revisión a la que seguirá próximamente una segunda junto con un demostrador funcional, que permitirá dar paso, ya en 2019, a la etapa de prefabricación y posterior certificación.

— *Las líneas de investigación de ciberseguridad y vehículos autónomos* estudian otros temas de actualidad, como son la seguridad de los sistemas informáticos en un mundo conectado, tanto horizontal como verticalmente, y la aplicación de los vehículos autónomos y, en particular, de drones tanto en espacios confinados como en exteriores. Estas líneas incluyen una actuación cada una. Hasta el momento, se ha completado el proyecto piloto correspondiente a la inspección autónoma de superficies internas de tanques y se trabaja en una solución muy novedosa para la medición de espesores en el interior de tanques. A la par, se ha lanzado un nuevo proyecto piloto que conjuga la utilización de drones y tecnología RFID para el control automático del inventario de almacenes.

Todas estas tecnologías y algunas otras, que se desarrollan en otros centros/áreas geográficas de Navantia, se incorporarán en las plantas previstas para los Astilleros 4.0 de Navantia y en concreto en la nueva planta del Astillero de Ferrol. Este proyecto, que supone el diseño de un astillero moderno para el siglo XXI en la zona NE de la factoría, se inspira en la experiencia de otros europeos más avanzados, e incluye la construcción del buque en un dique seco cubierto, con una disposición compacta de talleres y flujos concebidos para la optimización de los procesos. En esta nueva instalación se espera fabricar gran parte de las fragatas *F-110*. En definitiva, se podrá decir entonces que en el Astillero 4.0 de Navantia en Ferrol, no llueve, no hay distancias, no hay almacén, está intensamente robotizado y tiene una plantilla 4.0.

ANEXO 2

EL ECOSISTEMA DE INNOVACIÓN EN LA BAHÍA DE CÁDIZ

En la Bahía de Cádiz está en marcha un Ecosistema de Innovación basado en cuatro pilares:

— Catedra Navantia-Universidad de Cádiz.
— Unidad de Innovación Conjunta (UIC).
— Centro de Innovación en Tecnologías de Fabricación Avanzada (CFA).
— Clúster Marítimo Naval de Cádiz.

La Cátedra Navantia-Universidad de Cádiz se firmó a finales del año 2016. La finalidad principal es la ordenación de la colaboración conjunta y continua en actividades de formación en todos los niveles, difusión del conocimiento, I + D + i y transferencia relacionadas con los campos técnicos y tecnológicos del sector de la construcción naval, la ingeniería naval y oceánica, las ingenierías en general, y sus sistemas asociados.

Acto de presentación del Programa de Tesis Industriales Navantia-UCA.

En su marco, en 2017 se estableció un Convenio de colaboración para el fomento de la formación del personal investigador a través de la realización de tesis doctorales industriales en las instalaciones de Navantia.

Hasta la fecha han sido aprobadas nueve tesis, la mayoría de ellas dirigidas al Astillero 4.0, que serán tuteladas durante los tres próximos años por directores de tesis de la UCA y directores y/o tutores de tesis de Navantia, contando de esta forma con el asesoramiento y apoyo por ambas partes. Próximamente se formalizarán tres tesis adicionales asociadas al Programa de Atracción del Talento de la UCA, sumadas a otras tres vinculadas a la

Rejillas impresas en 3D e instaladas en el buque *Suezmax*. (Astillero de Puerto Real).

Industria Auxiliar del Sector Naval que han sido fruto de la tracción ejercida por Navantia.

La Unidad de Innovación Conjunta (UIC) es un proyecto de I + D + i conjunto entre Navantia y la UCA, vinculado a un programa de incentivos pionero en Andalucía. La Junta de Andalucía, a través de la Agencia IDEA, convocó en 2017 este nuevo programa, que incentiva hasta el 60 por 100 del coste de grandes proyectos de I + D + i de importantes empresas que unan sus esfuerzos a centros de investigación reconocidos, en líneas orientadas a la estrategia europea RIS3. Navantia lidera, junto con la UCA, el proyecto denominado «Astillero 4.0: desarrollo de un modelo productivo naval sostenible basado en tecnologías de fabricación avanzada y habilitadoras de la Industria 4.0», con casi 5.000.000 de euros de presupuesto, que incluye siete líneas de investigación vinculadas a tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 y tecnologías de fabricación avanzada: fabricación aditiva, soldadura láser híbrida, modelizado y simulación, robótica portable y flexible, vehículos no tripulados (aéreos, submarinos y de superficie) y automatización de pruebas.

El Centro de Innovación en Tecnologías de Fabricación Avanzada de Andalucía (CFA) es un proyecto promovido por la Agencia IDEA (Junta de Andalucía), junto a los sectores naval y aeronáutico andaluces representados por las empresas tractoras Navantia y Airbus y sus respectivos clústeres y con la participación de la UCA. Se trata del primer centro tecnológico físico ubicado en suelo de Navantia, al encontrarse su sede provisional en el Astillero de Puerto Real, donde permanecerá por algunos años desde su próxima inaugura-

Acto de firma del Protocolo del CFA.

ción hasta la construcción por parte de la Agencia IDEA de una sede definitiva.

La dotación económica del CFA es de 24,5 millones de euros, procedentes de fondos europeos ITI. El CFA permitirá disponer de espacios y equipos de fabricación avanzada para el desarrollo de proyectos de I + D + i, minimizando el impacto económico de la actividad de I + D + i en las empresas. La UIC Navantia-UCA podrá hacer uso de los espacios y equipamiento de este centro, el cual constituirá su sede oficial.

Presentación del Clúster Marítimo Naval de Cádiz.

El CFA será un espacio para el desarrollo de innovación y tecnología de rápida transferencia al tejido productivo, que permitirá sinergias y trabajo colaborativo entre las empresas y agentes tecnológicos participantes en un entorno de Industria 4.0. Es destacable la presencia de Airbus, líder internacional, que permitirá compartir conocimiento y mejores prácticas entre dos sectores (aeronáutico y naval) que ya de por sí comparten muchas señas de identidad (industrias del transporte, integradores de productos complejos de gran valor, mercados militar y civil, clientes muy exigentes, competencia nivel mundial, etcétera.).

El Clúster Marítimo Naval de Cádiz constituye hoy en día el principal marco para la dinamización del sector naval en la provincia de Cádiz, a través del cual Navantia Bahía de Cádiz canaliza sus relaciones con la Industria Auxiliar Naval. La Mesa de Innovación de este Clúster es un foro de intercambio de experiencias y generación de proyectos conjuntos entre empresas en el seno del sector naval andaluz, en el que Navantia actúa como tractora de la innovación en su cadena de suministro.

Estos cuatro pilares sostienen la estrategia Astillero 4.0 de Navantia en Andalucía, con el apoyo de la Junta de Andalucía y la Universidad Pública, en una red que imbrica la participación de las empresas del sector naval junto a Navantia como principal empresa pública y tractora.