

Enfoque del sector naval hacia la Industria 4.0

Approach of the naval industry towards Industry 4.0

Alejandro-Javier Sánchez-Sotano¹, Magdalena Ramírez-Peña¹, Francisco-Javier Abad-Fraga² y Jorge Salguero-Gómez¹

¹ Universidad de Cádiz (España)

² Navantia S.A. (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9408>

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los sectores industriales más relevantes a nivel mundial es el naval, estando implicado en múltiples actividades comerciales. Tanto es así que, según datos de UNCTAD (*United Nations Conference on Trade and Development*) [1], se pone de manifiesto la importancia de disponer de una flota naval lo suficientemente amplia para dar respuesta a las necesidades marítimas. En esta línea aparece el sector de la construcción naval, encargado de la fabricación y reparación de los distintos tipos de buques y estructuras para dar respuesta a las actividades comerciales que componen esta industria.

El paradigma de la economía actual se manifiesta en un mercado global, en el que, particularizando en la construcción de buques, lleva a que astilleros de diferentes partes del mundo compitan entre sí por incrementar su cartera de pedidos. Por otro lado, una de las características de la construcción naval es su comportamiento cíclico, con altibajos en la demanda de productos como se puede observar en la Figura 1, en la que se muestra la evolución mundial anual de nuevas contrataciones, entregas y cartera de pedidos en la construcción naval.

Como puede observarse, la evolución mundial anual de nuevas contrataciones,

entregas y cartera de pedidos expresados en millones de CGT (Compensated Gross Ton, unidad que mide el nivel de actividad de un astillero) sigue un patrón compuesto de tres fases: Bonanza – Ralentización – Recesión [2].

El conjunto de estos dos factores genera un entorno de muy alta competitividad en el que resulta imprescindible adaptar los modelos de negocio, buscando mayor agilidad, adaptabilidad, flexibilidad y productividad, tomando las decisiones de la forma más rápida y optimizada posible. Este conjunto de características se encuentra entre las propias de la cuarta revolución industrial, también denominada Industria 4.0 [4]. Este concepto, fundamentalmente europeo, ha dado pie a distintas iniciativas a nivel mundial para adaptar cada industria a la transformación digital.

Sin embargo, esta necesidad contrasta frontalmente con los sistemas de fabricación naval, tradicionalmente muy rígidos debido a las propias características de la construcción. Por una parte, el lapso de tiempo desde la contratación hasta la entrega de los productos puede alcanzar los dos años y, por otro lado, la propia rigidez del buque debido a la alta regulación y normalización aplicada durante todo el ciclo de vida del mismo [2], restringiendo las posibles innovaciones en términos de diseño y fabricación para reducir plazos. Además, en este sector la fabricación se realiza en series muy cortas en el mejor de los casos, lo que dificulta la implementación de soluciones automatizadas.

En este artículo se pretende mostrar la visión del estado en el que se encuentran los desarrollos del sector naval frente

a la Industria 4.0, realizando una pequeña revisión del estado del arte tanto en bases de datos científicas como por parte de las iniciativas que se están llevando a cabo actualmente por los principales astilleros mundiales. A continuación, se mostrarán los retos a los que debe hacer frente el sector para, finalmente proponer una serie de líneas de trabajo.

2. SÍNTESIS DEL POTENCIAL 4.0

La Industria 4.0 se refiere a un nuevo paradigma tecnológico gracias a la integración del mundo físico con el mundo virtual [5], considerándose también como la revolución de la transformación digital, teniendo un gran potencial de desarrollo en que se incluyen [4]:

- Personalización de requisitos por el cliente, gracias a poder influir en los criterios de diseño
- Flexibilidad, al basar la industria en los sistemas ciber-físicos, permitiendo configurar de forma dinámica los procesos.
- Optimización en la toma de decisiones, al poder monitorizar en tiempo real el proceso y adaptarlo, dotando de flexibilidad al sistema.
- Mejorar la eficiencia y productividad de los recursos, añadiendo valor gracias al uso de los sistemas ciber-físicos en los procesos de fabricación.
- Generación de oportunidades de creación de valor añadido mediante nuevos servicios.

Esta transformación está soportada por una serie de tecnologías habilitadoras, de forma que contribuyen a alcanzar mayores niveles de productividad para las empresas, optimizando la cadena de valor de los productos y los procesos implicados [6]. Por tanto, la Industria 4.0 tiene un impacto directo, además de sobre la industria, sobre los productos y servicios, que cada serán más complejos, inteligentes y modulares.

En términos académicos, la Industria 4.0 ha generado un creciente interés científico, como se observa en la evolución de artículos publicados desde el año 2011 al 2019, atendiendo a datos obtenidos de Web Of Science, Scopus y Google Scholar utilizando como criterio de búsqueda "Industry 4.0" (Figura 2A). En orden de concretar la búsqueda bibliográfica sobre el

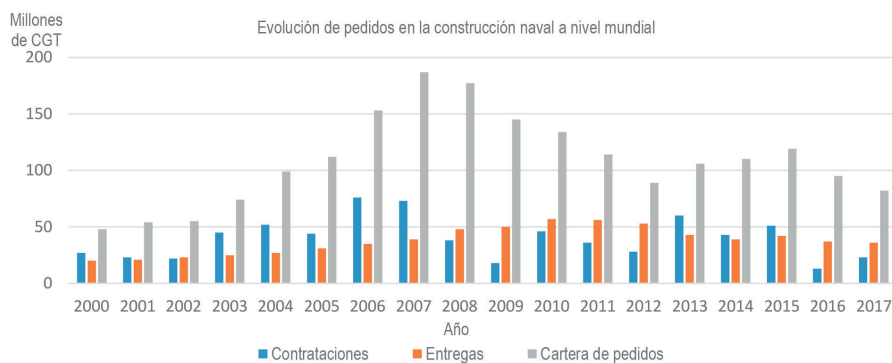


Figura 1: Evolución de contrataciones anuales de buques a nivel mundial, adaptado de [3]

sector naval, se especifica la búsqueda en las bases de datos citadas con las palabras clave "shipbuilding 4.0", "maritime 4.0", "shipyard 4.0", "smart yard" y "smart shipyard", resultando en un número reducido de artículos (Figura 2B). Tras una revisión de los mismos, se comprueba que aquellos que guardan relación directa abordan el problema desde dos puntos de vista diferente. Por un lado, una visión más genérica que relaciona Industria 4.0 y el sector naval y, por otro, aplicaciones concretas de tecnologías 4.0.

avances logrados, evitando la difusión de sus investigaciones y desarrollos. Por tanto, la información disponible en cuanto al grado de implementación de tecnologías 4.0 es bastante escasa, y sólo puede obtenerse mediante reportes anuales o los sitios web de información de los astilleros, en los que muestran someramente las tecnologías que utilizan con el fin de crear una ventaja competitiva sobre la competencia y atraer pedidos.

En términos generales, el uso de tecnologías y sistemas CAD/CAM/CAE es ha-

astilleros más avanzados a nivel mundial, dedicando una división al desarrollo e investigación en sus instalaciones. En ella, disponen de equipos de trabajo dedicados al progreso en sistemas de factoría inteligente, ahondando principalmente en las áreas de robótica, automatización y optimización de procesos de fabricación. Por otro lado, tiene equipos de desarrollo hacia productos 4.0 bajo la denominación de buques inteligentes, en el que se incorporen tecnologías de Big Data, sensores integrados y tecnologías de comunicación avanzadas con objeto de conferir al producto de inteligencia.

Pese a la dificultad de incluir procesos de automatización en la industria de la construcción naval, el astillero Samsung Heavy Industries (SHI) afirma ser líder mundial en automatización de procesos en el sector naval, valorando en un 68% de automatización en su proceso productivo gracias a robots de desarrollos internos, incorporándolos en distintas etapas, destacando soldadura automatizada, inspección de tuberías u operaciones de limpieza del casco antes de la entrega final a los clientes, haciendo de este astillero uno de los más productivos a nivel mundial. Asimismo, impulsan la transformación digital de sus instalaciones mediante la inclusión de tecnologías avanzadas de comunicación y la integración de sistemas ciber-físicos. Además, han adaptado un concepto de factoría inteligente (Figura 3) en el que se contempla el cambio tanto a nivel de operaciones como de planta, en las que se implantarían diferentes tecnologías con vistas de alcanzar el objetivo final de factoría inteligente [7].

Hyundai Heavy Industries (HHI) es actualmente el astillero con mayor volumen de producción a nivel mundial, cifrando en un 10% respecto al total su cuota de mercado. Entre sus aproximaciones a aplicaciones inteligentes, en 2010 desarrollaron un sistema de monitorización remota del buque como primera aproximación de "buque inteligente conectado", posteriormente actualizado a una segunda versión en 2013 con el objetivo de integrar los

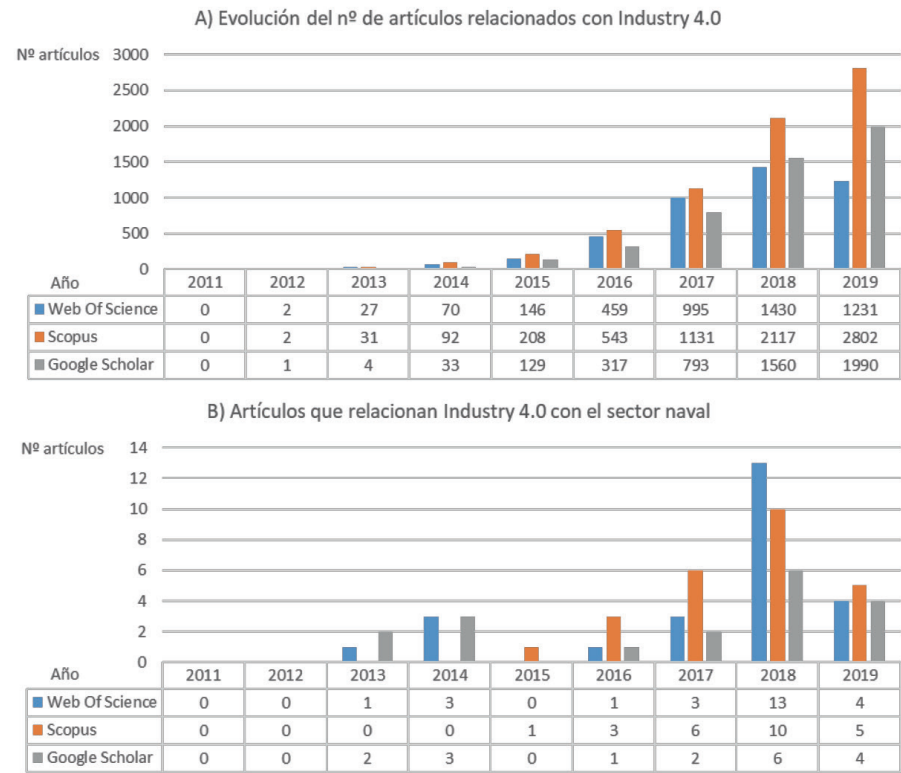


Figura 2: A) Evolución del número de artículos relacionados con Industry 4.0 (arriba). B) Artículos que relacionan Industry 4.0 con el sector naval (abajo)

Este análisis desvela por un lado el creciente interés que ha despertado la Industria 4.0 per sé y, por otro, el contraste evidente con el reducido número de publicaciones específicas en el sector naval. Así, se desvela la necesidad de realizar un esfuerzo por la academia y la industria naval de forma conjunta, enfocado hacia el desarrollo de las tecnologías disruptivas de la Industria 4.0, con el objetivo de incrementar el valor añadido de los productos fabricados y buscando la sostenibilidad de un sector global altamente competitivo.

3. INICIATIVAS EN EL SECTOR NAVAL

La alta competencia en el sector de la construcción de buques aumenta, más si cabe, el hermetismo de los astilleros líderes, que mantienen para sí mismos los

bitual en la industria de la construcción naval mediante el uso de diferentes aplicaciones software, por lo que se puede considerar que el sector parte de un cierto nivel de digitalización a nivel de diseño. Partiendo de esta base, los astilleros más avanzados tienen su propio enfoque de aproximación a la Industria 4.0.

Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) es considerado uno de los

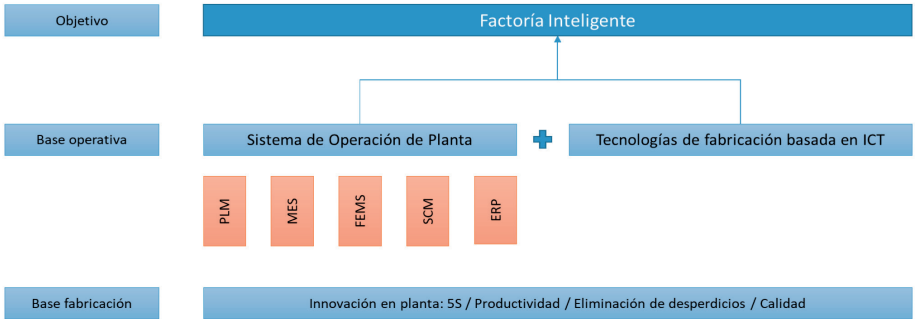


Figura 3: Concepto de Factoría Inteligente de Samsung Heavy Industries, adaptado de [7]

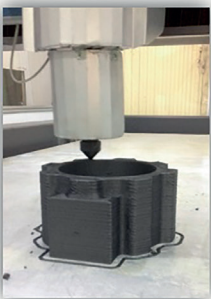


Figura 4: Tecnologías Habilitadoras Clave identificadas por Navantia y aplicaciones en el sector

servicios de monitorización en una plataforma propia de Hyundai. A finales de 2015 presentaron un concepto más desarrollado del buque inteligente conectado, cuyo objetivo es incrementar el valor añadido, mediante la contribución en aspectos adicionales del ciclo de vida útil del buque, entre los que destacan el apoyo a los sistemas de navegación, el incremento de la productividad y los servicios de evaluación del buque.

De entre los astilleros líderes en Europa, destaca el alemán Meyer-Werft, que hace uso extensivo de tecnologías digitales en gran parte de sus instalaciones. De esta forma, han sustituido los planos en papel por conjuntos en aplicaciones CAD y por simulaciones tanto del proceso como del producto, realizando pruebas con diferentes configuraciones, incrementando así su capacidad de decisión. De esta forma,

disponen de una factoría digital con la que disminuyen los costes de operación al poder tomar decisiones de forma temprana. En temas de logística también disponen de un sistema de control de flujo de material mediante el uso de etiquetas de identificación por radio frecuencia, asegurando su ubicación y la trazabilidad a lo largo de toda la factoría, y consiguiendo entregas según la filosofía *Just in Time*. También utilizan tecnologías de Realidad Virtual con las que visualizan distintas partes del producto durante la fase de desarrollo, con el objetivo de mejorar en calidad.

Algunas de las iniciativas más destacadas a nivel español son las llevadas a cabo por el astillero público Navantia, que ha definido su hoja de ruta para con la Industria 4.0 hacia lo que ha denominado como Astillero 4.0 [8]. Para ello, ha

identificado 13 tecnologías habilitadoras clave en las que ya se encuentran realizando trabajos con tecnologías de Robótica [9], Fabricación Aditiva de base polimérica [10] y Realidad Aumentada [11], entre otros (Figura 4). En 2017, M. Otero et al [12] realizaron un estudio sobre la transformación digital de requisitos para el caso de las plataformas navales en el que se muestra el nivel de madurez digital de Navantia, destacando puntos fuertes y débiles en su camino a la Industria 4.0.

Entre sus actuaciones estratégicas, Navantia ha establecido una asociación junto a la Universidad de A Coruña denominada Unidad Mixta de Investigación (UMI), y con la Universidad de Cádiz, con la establecen un marco de colaboración mediante la Unidad de Innovación Conjunta Navantia-Universidad de Cádiz (UIC), en la que se contemplan siete líneas de investigación y desarrollo tecnológico.

En la Tabla I se recogen las principales actuaciones de cada uno de los astilleros analizados, mostrando la tendencia del sector en pos de enfocarse hacia Industria 4.0. Como se observa, los grandes astilleros analizados tienen un concepto de aplicación de la Industria 4.0 tanto para sus instalaciones como para sus productos, abordados desde distintos puntos de vista pero que buscan adaptarse a la transformación digital y a la Industria 4.0.

4. RETOS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL SECTOR NAVAL

La transformación digital supone una serie de retos a los que las industrias se deberán enfrentar en su camino a la Industria 4.0. La iniciativa española "Industria Conectada 4.0", cuyo objetivo es lograr la sostenibilidad del sistema, define en su informe preliminar retos industriales que pueden particularizarse al caso de la industria de la construcción naval [13]. En la Tabla II se recogen dichos retos y cómo afectarían a este sector. Dadas las carac-

Astillero	Actuaciones			
	Concepto de factoría inteligente	Desarrollo de productos inteligentes	Incorporación de Tecnologías de la Comunicación e Información avanzadas y plataforma propia	Otras acciones particulares
DSME	x	x	x	
SHI	x		x	Alto nivel de automatización con robots
HHI		x	x	Valor añadido del producto durante todo el ciclo de vida
MEYER-WERFT	x	x		Uso de tecnologías de realidad virtual en fase de diseño
NAVANTIA	x	x	x	Incorporación de 13 Tecnologías Habilitadoras Clave

Tabla I: Recopilación de actuaciones enfocadas a la Industria 4.0

terísticas particulares del mismo, algunos de estos retos cobran mayor relevancia y deben priorizarse, ya que están dirigidos a la sostenibilidad mediante el incremento de la productividad y de la calidad percibida del producto entregado.

Sin embargo, no todos los retos que se presentarán a la hora de realizar la transformación digital serán técnicos. Como apuntan desde el Boston Consulting Group, tras realizar un estudio sobre empresas que avanzan desde programas piloto a abrazar la transformación digital de forma completa, identificaron que aquellas que tenían instaurada una "cultura digital" tuvieron cinco veces más éxito que aquellas que no [14]. Además, en dicho estudio también apuntan que las empresas con una cultura digital sólida muestran resultados antes y más constantes, por lo que también se debe considerar el reto adicional de cómo preparar ante el cambio a los empleados de la empresa.

Esta necesidad de cultura digital se asemeja a la filosofía Lean. Durante los últimos años, las empresas se han adaptado a las técnicas de calidad de Lean Manufacturing como instrumento de mejora en sus procesos productivos. Esta filosofía conlleva un cambio de mentalidad de los trabajadores, siendo la concienciación un pilar fundamental. Es por ello que las metodologías Lean deben mantenerse como base de la cultura digital. Tanto es así, que un artículo publicado por la consultora McKinsey & Company en 2017 [15], relaciona la transformación digital como el siguiente paso en técnicas de mejora ba-

sadas en Lean Manufacturing, gracias a la cantidad de datos que pueden ser obtenidos y analizados, dando nuevas soluciones y alternativas a los problemas que existen en el ecosistema de la empresa.

El sector naval también debe hacer frente al reto social de implantar una cultura digital, teniendo en cuenta a su vez los principios de filosofía Lean, que siguen siendo de aplicación y son una base sobre la que trabajar en busca de la eficiencia de todo el sistema productivo. Estos retos planteados necesitan establecer unas líneas de actuación que les den respuesta y permitan que se lleve a cabo la transformación digital.

5. LÍNEAS DE ACTUACIÓN

Para dar respuesta a los retos de la Industria 4.0, se plantean cuatro líneas prioritarias de actuación y trabajo a futuro cuyo objetivo es establecer un camino que ayude a las industrias del sector naval a adaptarse.

5.1. CULTURA 4.0

La primera línea de actuación, y quizá la más importante, es la concienciación del capital humano de la empresa. No puede haber una revolución industrial exitosa si el personal de la empresa no entiende los cambios que se van a producir. Por ello, es necesario informar del proceso de implantación y formar a la plantilla en los procedimientos que se instaurarán, permitiéndoles que participen en el proceso. En este sentido, se encuentra

una equiparación con metodologías Lean, integrando a los trabajadores en todo el proceso de transformación.

Asociado a este punto, es necesario que también se forme al personal sobre el concepto de Industria 4.0 y sus tecnologías asociadas, y cómo éstas impactan en el desarrollo de su actividad, mejorando sus condiciones laborales y habilitándolos con nuevas competencias.

5.2. ENTORNOS COLABORATIVOS INTER-EMPRESAS Y CON EL CLIENTE

Al incrementar la integración horizontal entre empresas, se benefician las buenas relaciones entre los distintos actores. De esta forma, se consigue mejorar la trazabilidad del proceso, así como mejorar la cadena logística, disminuyendo ineficiencias y aumente el valor del producto gracias al feedback continuo entre los actores implicados.

Por otro lado, las colaboraciones con otras empresas del sector, bien sean suministradores u otras unidades productivas, dan lugar a la creación de entornos colaborativos en los que se encuentren soluciones a problemas que, de forma individual, requerirían más recursos. La creación de un espacio colaborativo con el cliente ayudará a prevenir los cambios del mercado, así como poder conocer las necesidades del mismo con objeto de poder ofrecerle un mejor servicio, haciendo que la calidad del producto cumpla con sus expectativas, mejorando esta relación y, por tanto, la sostenibilidad del sector.

Nº	Retos	Acciones
1	Usar métodos colaborativos para potenciar la innovación.	Involucrar en la cadena de valor y desarrollo otros actores con intereses similares. Participación en HUBs de innovación.
2	Combinar flexibilidad y eficiencia en los medios productivos.	Búsqueda de aumentar la productividad y la reducción de tiempos de fabricación.
3	Gestionar tamaños de series y tiempos de respuesta más cortos.	Ajustar las capacidades con la cartera de pedidos buscando la optimización en tiempos de entrega menores.
4	Adoptar modelos logísticos inteligentes.	Integrar en la cadena de suministro a los proveedores buscando el incremento de la cadena de valor.
5	Adaptarse a la transformación de canales (digitalización y omnicanalidad).	Incrementar la relevancia de comunicación mediante canales digitales y la integración de servicios.
6	Aprovechar la información para anticipar las necesidades del cliente.	Tomar un enfoque proactivo frente a futuras necesidades del cliente en base a información previa.
7	Adaptarse a la hiperconectividad del cliente.	Ofrecer información de valor en cualquier etapa del ciclo de vida del producto, mejorando la relación con el cliente.
8	Gestionar la trazabilidad multidimensional extremo a extremo.	Determinar y realizar un seguimiento de los materiales empleados en cada parte del producto, así como del conjunto.
9	Gestionar la especialización mediante la coordinación de ecosistemas industriales de valor.	Distinción en tipos de productos en colaboración con otros actores del sector, incrementando la especialización.
10	Garantizar la sostenibilidad a largo plazo.	Diseñar teniendo en cuenta los diferentes impactos y rendimientos del productos y procesos empleados.
11	Ofrecer productos personalizados.	Particularizar los productos en base a las necesidades del cliente para aumentar el valor añadido.
12	Adaptar el portfolio de productos al mundo digital.	Desarrollo del Buque Inteligente y conectado.

Tabla II: Retos y acciones para el sector de la construcción naval

5.3. DESARROLLO DE APLICACIONES Y TECNOLOGÍAS DIGITALES ESPECÍFICAS

Las tecnologías habilitadoras clave necesitan de proyectos particularizados para su puesta en funcionamiento en el sector naval. Ejemplo de ello es la fabricación aditiva o la robótica, de las que ya se están realizando proyectos concretos para entretenerse en el sistema productivo y aumentar la flexibilidad y eficiencia de los procesos. La incorporación de estas nuevas tecnologías permitirá aumentar la productividad y gestionar tiempos de respuesta menores.

Ejemplo de ello es la inclusión de nuevas tecnologías de unión, como es la soldadura láser híbrida para unir planchas de elevado espesor en el sector naval [16] que, gracias al uso de tecnologías de simulación, se estima un notable incremento de productividad en el proceso de fabricación de paneles.

5.4. DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS INTELIGENTES

El desarrollo de productos inteligentes capaces de poner en valor toda la infraestructura digital es otro de los grandes retos a los que se enfrenta la transformación digital. Los buques inteligentes han de ser capaces de recopilar datos suficientes y, gracias a tecnologías de conectividad, transmitirlos de forma eficaz y segura a una plataforma colaborativa.

En ella, se procesarán los datos de forma online, ayudando y facilitando la toma de decisiones a lo largo de su ciclo de vida, desde el comienzo de la producción hasta el desguace, pasando por la vida útil del mismo. De esta forma, el producto inteligente incorporará funcionalidades que faciliten su operatividad, lo que incrementará su valor añadido.

6. CONCLUSIONES

La Industria 4.0 supone un cambio de paradigma en el mundo industrial en general, y en particular en el sector de la construcción naval, cuyos principales exponentes ya han iniciado el camino hacia su adaptación. En este artículo se muestra la importancia del sector naval a nivel mundial y cuáles han sido los principales acercamientos de esta industria a la cuarta revolución industrial. Para ello, se ha realizado un análisis bibliométrico cuyos resultados evidencian el retraso a nivel de publicaciones científicas existente en este campo de estudio.

Por otro lado, el análisis realizado sobre cinco de los astilleros más avanzados

a nivel mundial, recogen las principales iniciativas que se han desarrollado relacionadas con la Industria 4.0, destacando la incorporación paulatina de tecnologías digitales y habilitadoras de la Industria 4.0, así como el desarrollo de productos inteligentes y los conceptos de fábrica inteligente. Además, a los retos técnicos que se enfrenta la industria, se añade una vertiente social igualmente importante, siendo en esta donde se lleva a cabo parte de la transformación digital. Así se encuentran por tanto aspectos tanto técnicos como sociales pese a que inicialmente se tienen en consideración únicamente los primeros.

La superación del conjunto de los retos identificados se puede llevar a cabo en base a las cuatro líneas de actuación propuestas en el artículo: Cultura 4.0, Entornos Colaborativos, Desarrollo de Tecnologías y Desarrollo de Productos Inteligentes. Éstas engloban los dos grandes aspectos 4.0 identificados necesarios para la transformación digital efectiva, con el objetivo de alcanzar un estado que propicie el salto a la fábrica inteligente de la construcción naval.

REFERENCIAS

- [1] Review of maritime transport 2018, [Nueva York]: United Nations Conference on Trade and Development, 2018, 116 p. [en línea] https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf, [Fecha de última consulta: abril 2019].
- [2] Agenda Sectorial de la Industria Naval, PYMAR, 2018, 126 p. [en línea] <http://www.pymar.com/sites/default/files/agenda-sectorial-industria-naval.pdf>, [Fecha de última consulta: abril 2019].
- [3] Informe de actividad del sector de la construcción naval 2017, [Madrid]: PYMAR, 2017, [en línea] http://www.pymar.com/sites/default/files/pymar_informe_anual_2017.pdf, [Fecha de última consulta: abril 2019].
- [4] Kagermann H, Wahlster W, Helbig J. Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0, [Frankfurt]: acatech, 2013, 82 p.
- [5] MacDougall W. Industrie 4.0. Smart Manufacturing for the Future, [Berlin]: Germany Trade and Invest, 2014.
- [6] Gerbert P, Lorenz M, Rübmann M, et al. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries, abril 2015, [en línea] https://www.bcg.com/en-es/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx, [Fecha de última consulta: abril 2019].
- [7] SHI Communications Team, 2017 Samsung Heavy Industries Sustainability Report, [en línea] http://www.maritimecsr.com/files/reports/2017/Sustainabilityreport_2017_e.pdf, [Fecha de última consulta: abril 2019].
- [8] Recaman A. "Navantia's Shipyard 4.0 model overview", Ship Science & Technology, Vol 11, No 22, p. 77-85, Cartagena de Indias, Enero 2018 <https://doi.org/10.25043/19098642.165>
- [9] Galindo P, Morgado-Estevez A, Aparicio-Rodríguez JL, et al., "Development of a Customized Interface for a Robotic Welding Application at Navantia Shipbuilding Company", Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, p. 43-52. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70836-2_4
- [10] Abad-Fraga FJ, Casal V, Moreno-Nieto D, et al. "Fabricación aditiva en la construcción naval en el contexto de la Industria 4.0", Ingeniería naval, N.º. 955, 2017, p. 33-39.
- [11] Blanco-Novoa, O., Fernandez-Carames, T. M., Fraga-Lamas, P., & Vilar-Montesinos, M. A., "A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard", IEEE Access, 6, 2018, p. 8201-8218. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2802699>
- [12] Cerezo-Narvaez A, Otero-Mateo M, Rodríguez-Pecci F, et al. "Digital transformation of requirements in the industry 4.0: case of naval platforms", DYNA 93, no. 4, 2018, <https://doi.org/10.6036/8636>
- [13] "La transformación digital de la industria española", Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Madrid, 2015, 120 p.
- [14] Hemerling J, Kilmann J, Danoesastro M, et al., "It's Not a Digital Transformation Without a Digital Culture", abril 2018, [en línea] <https://www.bcg.com/publications/2018/not-digital-transformation-without-digital-culture.aspx>, [Fecha de última consulta: abril 2019].
- [15] Behrendt A, Müller N, Odenwälder P, et al., "Industry 4.0 demystifies-lean's next level", marzo 2017, [en línea] <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-4-0-demystified-leans-next-level>, [Fecha de última consulta: Abril 2019].
- [16] Churiaque, C., Chludzinski, M., Porrua-Lara, M., Dominguez-Abecia, A., Abad-Fraga, F., Sánchez-Amaya, J.M., "Laser Hybrid Butt Welding of Large Thickness Naval Steel.", Metals 2019, 9, 100. <https://doi.org/10.3390/met9010100>.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los avances de una tesis doctoral industrial enmarcada en el "Convenio entre la Universidad de Cádiz y Navantia S.A., S.M.E. para la colaboración en el fomento en la formación del personal investigador para la realización de tesis doctorales en empresas". Agradecer a ambas entidades posibilitar, financiar y facilitar el desarrollo del mismo.