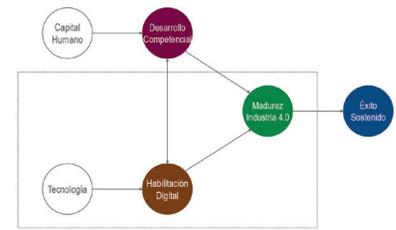


Transformación digital de requisitos en la industria 4.0: caso de plataformas navales



Digital transformation of requirements in the industry 4.0: case of naval platforms



Alberto Cerezo-Narváez¹, Manuel Otero-Mateo¹, Francisco Rodríguez-Pecci² y Andrés Pastor-Fernández¹

¹ Universidad de Cádiz. Escuela Superior de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial. Avenida de la Universidad de Cádiz, 10 - 11519 Puerto Real (Cádiz). Tfno: +34 956 483211. alberto.cerezo@uca.es

² Navantia. Carretera de la Carraca, s/n - 11100 San Fernando (Cádiz)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8636> | Recibido: 31/10/2017 • Evaluando: 14/11/2017 • Aceptado: 12/02/2018

ABSTRACT

- Complex projects need to face the challenges of the future, implementing solutions to improve the value chain and establish a differentiating competitive advantage in the framework of the "fourth industrial revolution". Integration of information and communication technologies (ICT) in production processes, incorporating innovative digital technologies, allows to develop in organizations a vision that covers strategies implementation to achieve excellence. Thanks to the "Connected Industry 4.0" initiative, trying to increase added value and qualified employment in industrial sectors, favour the future industry model and improve competitiveness to boost exports, Navantia, a Spanish public company dedicated to civil and military shipbuilding, promotes a digital transformation plan, which aims to consolidate it around the concept of "Shipyard 4.0", essential for its sustainability. Requirements digitization, automation, exploitation and integration of complex projects, as naval platforms, is a differential "lock lever" to make it possible and place it at an advantage against current globalization and allows it to face with greater guarantees next milestones. Improvement of results in three Navantia complex projects of naval platforms (developed in the productive center of the San Fernando shipyard), in terms of digital maturity is conclusive, thanks to a requirements management model implementation, exportable to other types of projects in the shipbuilding sector and industrial sectors, in the context of Industry 4.0.
- **Keywords:** Industry 4.0, requirements management, digital transformation, digitization, automation, naval platforms.

RESUMEN

Los proyectos complejos necesitan afrontar los retos que les depara el futuro, implementando soluciones para la mejora de la cadena de valor y establecimiento de una ventaja competitiva diferenciadora en el marco de la "cuarta revolución industrial". La integración de tecnologías de la información y comunicación (TIC) en los procesos productivos, incorporando tecnologías digitales innovadoras, permite desarrollar en las organizaciones una visión que da cobertura a la implementación de las estrategias necesarias para alcanzar la excelencia.

Aprovechando la iniciativa de "Industria Conectada 4.0", que persigue los objetivos de incrementar el valor añadido y empleo cualificado en el sector industrial, favorecer el modelo de industria del futuro y mejorar la competitividad para impulsar las ex-

portaciones, Navantia, sociedad pública española dedicada a la construcción naval civil y militar, promulga un plan de transformación digital, que pretende consolidarse en torno al concepto de "Astillero 4.0", imprescindible para su sostenibilidad. La digitalización, automatización, explotación e integración de requisitos de proyectos complejos como las plataformas navales, supone una "palanca de cambio" diferencial que le posibilita situarse en ventaja ante las condiciones actuales de un mercado globalizado y le permite afrontar con mayores garantías los siguientes hitos.

La mejora de resultados en tres proyectos complejos de plataformas navales de Navantia (desarrollados en el centro productivo del astillero de San Fernando), en términos de madurez digital es concluyente, gracias a la implantación de un modelo para la gestión de requisitos, exportable a otro tipo de proyectos del sector naval y sectores industriales, en el contexto de la Industria 4.0.

Palabras clave: Industria 4.0, gestión de requisitos, transformación digital, digitalización, automatización, plataformas navales.

1. INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, las organizaciones industriales expanden sus líneas de negocio ofreciendo servicios de mantenimiento, reparación y revisión relacionados con sus productos, así como soporte técnico, implicándoles una atención creciente [1]. Además, se esfuerzan por aprovechar las capacidades tecnológicas emergentes que les ofrecen los sistemas ciber-físicos para diseñar mejores productos, aumentar la eficiencia de sus servicios y ofrecer nuevos procesos de valor agregado.

Los principales desafíos a los que se enfrentan las organizaciones (globalización, avance de la tecnología y desequilibrio económico), actúan como impulsores de la transformación del mercado [2]. La "estrategia 4.0" enfatiza la cooperación entre Industria y Ciencia, estrechando los vínculos entre habilidades y conocimiento, mediante el uso de tecnologías y servicios web, de aplicación en la fabricación para la mejora de la productividad y eficiencia, gracias a procesos auto-gestionados en los que personas, máquinas y sistemas se comunican y cooperan [3]. No obstante, esta transformación digital requiere superar las limitaciones de financiación y concienciar sobre la oportunidad de mejorar la posición competitiva sostenible que representa la gestión digital de requisitos y eliminar la resistencia al cambio [4].

La Unión Europea (UE) promueve la "sociedad de la innovación" a través de las iniciativas de la estrategia "EU2020" y del programa Marco europeo de I+D+i "Horizonte 2020", con la pre-

tensión de mejorar energía y clima, educación, empleo y desarrollo económico [5]. Por su parte, España enfoca su política de desarrollo tecnológico en lograr el liderazgo industrial desde la mejora de la competitividad, fomento del conocimiento e incremento del bienestar social [6].

1.1. INDUSTRIA 4.0

Frente al paradigma del sistema de producción clásico, la Industria 4.0 propone un nuevo modelo basado en la fabricación distribuida, siendo la tecnología la clave que articula el cambio [7]. En la fábrica inteligente, se procesan los datos eficaz y eficientemente, atendiendo las necesidades de la cadena de valor, desde el diseño del producto hasta el servicio posventa, incidiéndose en la ingeniería concurrente, involucrando a los interesados en el ciclo de vida (CV) [8], atendándose sus necesidades y expectativas, optimizando costes, reduciendo plazos, mitigando riesgos y asegurando requisitos. Sus principios se concentran en cuatro bloques [9]: interconexión (colaboración, estandarización y seguridad), transparencia de la información, toma de decisiones descentralizada y asistencia técnica. En este nuevo contexto industrial, las organizaciones se encuentran en una carrera evolutiva que depende de su capacidad de reconocer los requisitos para servir a mercados específicos y adoptarlos con precisión en su propia estructura [10].

En España, "Industria Conectada 4.0" se lanza como una iniciativa conjunta coordinada de los sectores público-privado, como en otros países de la UE [11] y de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), según resume la Tabla I:

1.2. INDUSTRIA NAVAL Y DE DEFENSA

La industria naval se caracteriza por unos procesos de fabricación complejos, con gran diversidad de elementos intervinientes, siendo su producción seriada escasa y sus resultados, de alto valor añadido [12]. Bajo una intensa competitividad y condiciones impredecibles, el sector se ve obligado a reestructurar sus objetivos a largo plazo [13], de modo que los astilleros que demuestran una mayor adaptación al mercado global, implantando procedimientos que dinamizan sus políticas corporativas, cosechan mejores resultados, adoptando filosofías de I+D+i y herramientas TIC y lanzando iniciativas emprendedoras audaces para contrarrestar incerti-

dumbres mediante prácticas que, impulsadas por la tecnología, crean una infraestructura y empoderamiento que les prepara para los siguientes desafíos [14].

El concepto de "Astillero 4.0", cuyos procesos y productos están integrados para operar ecológica, eficiente y flexiblemente, toman ventaja respecto de sistemas tradicionales, asentándose sobre [15]:

- Integración vertical de los sistemas de producción naval (conectividad, fabricación aditiva, internet de las cosas (IoT), radiofrecuencia, robótica colaborativa, etc.), para garantizar una producción segura, rápida y adaptada al contexto, con mejor relación calidad-coste, operar en red, consumir menos energía y preservar más el medioambiente.
- Integración horizontal de redes de creación de valor (ciberseguridad, innovación, diversificación, etc.), para atender integradamente las necesidades de los interesados, respondiendo de manera personalizada.
- Reingeniería de la cadena de valor (drones, impresión 3D/4D, inteligencia artificial (IA), realidad virtual y/o aumentada (RV/RA), redes de teledetección, robótica, etc.), introduciendo cambios que afectan al CV.

Entre los principales puntos de interés para la industria naval procedentes de la Industria 4.0, destacan la IA (reconocimiento de patrones, automatización de procesos, simulación, etc.), sistemas de compatibilidad y reasignación de tareas (seguridad laboral, toma de decisiones, etc.), RV/RA, fabricación aditiva e IoT, concretándose en la generación automática de cronogramas, creación de modelos matemáticos de análisis y evaluación de procesos productivos, integración de algoritmos de calidad en sistemas de diseño asistido por ordenador (CAD) e integración de sistemas de gestión del ciclo de vida del producto (PLM). En este contexto, la transformación digital de la industria naval optimiza la producción y su eficiencia operativa, mediante la recopilación, análisis e integración de la construcción de plataformas, almacenando, interconectando y organizando la información generada por las fuentes implicadas [12,16] standards and regulations have to be observed in every step of the ship design process. Ignoring these constraints in any case leads to higher costs going along with potentially lower product quality. Numerous investigations have



País	Año	Denominación
Alemania	2011	Industria 4.0
Dinamarca	2012	Hecho
EEUU	2012	Asociación de Fabricación Avanzada
Italia	2012	Plan Industria 4.0 / Fábrica Inteligente
Australia	2013	Próxima Ola de Fabricación
Bélgica	2013	Hecho Diferente
Austria	2014	Plataforma Industria 4.0
GB	2014	Fabricación de Alto Valor
Holanda	2014	Industria Inteligente
India	2014	Hacer en India
Suecia	2014	Producción 2030
Canadá	2015	Fabricación Inteligente / Industria 4.0
China	2015	Hecho en China 2025
Corea del Sur	2015	Innovación en la Industria Manufacturera
España	2015	Industria Conectada 4.0
Francia	2015	Industria del Futuro
Japón	2015	Iniciativa de la Cadena de Valor Industrial
República Checa	2015	Industria 4.0
Polonia	2016	Plataforma de Industria Futura
Portugal	2017	Industria 4.0

Tabla I: Iniciativas de transformación digital. Imagen extraída de [11]

shown that product data model correction activities require considerable resources (man-hours and although money = cost).

En la industria de defensa, las iniciativas relativas al impulso de la I+D+i se reorientan sobre la base de una mayor presencia de actores tecnológicos, con mayor implicación y un rol más dinamizador de las organizaciones (civiles y militares) para la promoción del conocimiento en un sistema dual [17]. En España, la consolidación de un modelo nacional es un objetivo estratégico (modernizando los astilleros de defensa para aumentar la competitividad de las plataformas, acortando los períodos de construcción y entrega), para garantizar la superioridad tecnológica que confiere tanto ventaja operativa en el uso de sistemas de armamento, como ventaja competitiva en la base industrial que los provee [18]. Navantia se posiciona como referencia mundial en el diseño, construcción e integración de buques de guerra, al disponer de capacidad para diseñar, desarrollar, producir, integrar y soportar plataformas integradas [14].

1.3. GESTIÓN DE REQUISITOS

En el contexto de la Industria 4.0, la gestión de requisitos se basa en su trazabilidad, reutilización, visibilidad, pronóstico y personalización [19]. Además, la participación de las organizaciones, a nivel estratégico y operativo, garantiza su cumplimiento, lográndose compromiso y su aceptación [20]. Asimismo, gracias a la incorporación de la tecnología, la gestión de requisitos genera especificaciones que describen de manera inequívoca sus necesidades [21]. Al principio del CV (desde la fase de diseño [22]), proporciona beneficios, involucrando a los interesados en las fases conceptuales, estableciendo una guía para su desarrollo y proporcionando un estándar para el control de tareas. Sin embargo, la naturaleza dinámica de los requisitos presenta un gran desafío, razón por la que los principios de supervisión de condiciones y reconfiguración se diseñan e implementan [23] thus presenting a significant challenge for several aspects of product development. To deal with this constant and sometimes unpredictable product evolution, cyber physical production systems (CPPS).

Los requisitos de alto nivel (RAN) son el pilar sobre el que se asientan los proyectos complejos, dado que su definición, mante-

nimiento y trazabilidad, son de vital importancia. La Fig.1 representa su evolución, desde "requisito digital" (registrado manualmente) y "requisito automatizado" (obtenido automáticamente con redes de comunicaciones y sensorización), hasta "requisito inteligente", pudiendo las organizaciones anticiparse a las nuevas demandas que puedan surgir.

A largo plazo, la digitalización, automatización, explotación e integración de requisitos apuntan a la consecución de uno de los aspectos más importantes en el contexto de la Industria 4.0: la "fabricación inteligente" [24], aplicable a las organizaciones con alto grado de interconexión y capacidad para gestionar grandes volúmenes de información. A medida que la transformación digital acontece, como resume la Fig.2, aumenta la necesidad de gestionar el conocimiento para integrar requisitos e interesados [25], para lo que es necesario descubrir las necesidades del usuario final (sin omisiones) y reconstruir los sistemas heredados, por si la experiencia previa no es recuperable, para explorar nuevos valores.

No obstante, conviene señalar una serie de tensiones procedentes de la transformación digital, que pueden ser mitigadas con la ayuda de instrumentos que permiten una innovación explotadora y exploratoria [26]:

- Digitalización de la creación de valor, cuyas implicaciones resultan todavía impredecibles
- Generación de grandes expectativas, siendo la percepción pública superior a la implantación real
- Penetración en las empresas, tanto arriba-abajo como abajo-arriba
- Impacto significativo en la organización del trabajo y la cualificación necesaria para su desempeño
- Falta de buenas prácticas, por objetivos no transparentes y obstáculos organizacionales

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de la investigación es analizar la importancia de la transformación digital de requisitos (digitalización, automatización, explotación e integración) en la dirección de proyectos complejos, y su aplicación en el contexto de la Industria 4.0, discutiendo los resultados de su implantación en Navantia, extrayendo unas conclusiones principales y proponiendo líneas futuras de actuación.

A partir del marco de referencia [27] de la Fig.3, en el que se establece la relación entre, por un lado, el desarrollo competencial y, por otro lado, los habilitadores digitales con la madurez de las organizaciones, mediante el estudio de tres casos singulares, cada uno con un grado diferente de transformación digital, se procede a discutir los resultados obtenidos por dos vías diferentes:

- Análisis de la madurez digital de la organización, a través de la herramienta de autodiagnóstico digital avanzada (HADA) [28], ofrecida por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (MINECO), comparando los resultados obtenidos por Navantia con los ya registrados en la plataforma para otras empresas, tanto a nivel nacional como respecto de las de su mismo tamaño y/o sector industrial
- Contraste de la influencia de la evolución de la gestión de requisitos en la gestión de riesgos de plataformas, en términos de probabilidad e impacto en alcance y/o calidad, cuya metodología ya se encuentra implantada en Navantia, en consonancia con las directrices promulgadas por el estándar internacional ISO 31.000 [29]. Se pretende comprobar que la criticidad de los riesgos disminuye a medida que la gestión de requisitos se digitaliza, automatiza, explota e integra.

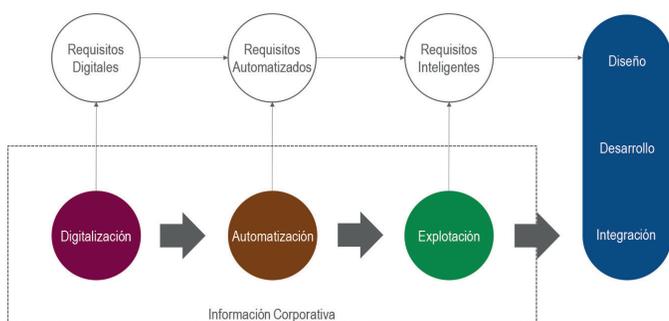


Fig. 1: Integración automatizada de requisitos en la cadena de valor propuesta por la Industria 4.0



Fig. 2: Proceso de gestión de requisitos. Adaptada de [25]

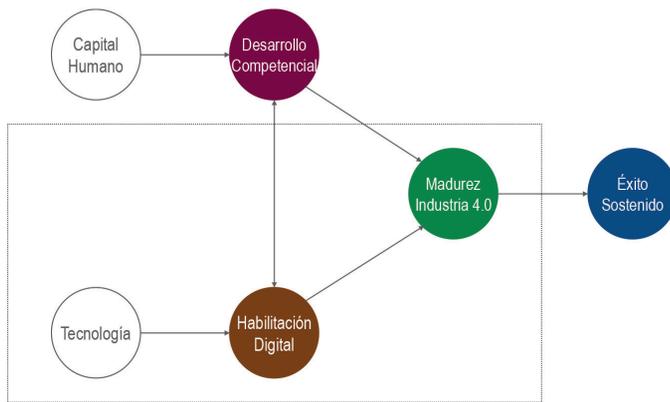


Fig. 3: Marco de referencia de la investigación

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en esta investigación es el estudio de casos, que no separa el fenómeno de su contexto, partiendo de un modelo teórico preliminar para construir una teoría y alcanzar un modelo explicativo más completo, y permite crear nuevos marcos teóricos, comprobando su aplicación práctica, analizar en profundidad la complejidad del fenómeno objeto de estudio y considerar los puntos de vista de todos los involucrados [30].

Los casos de estudio se desarrollan en el astillero de San Fernando y consisten en tres proyectos complejos (por cantidad de interesados, contexto, riesgo, relaciones, alta especialización y capacitación profesional, objetivos y procedimientos documentados), a los que se les realiza una investigación aplicada, analizando los datos desde la construcción teórica planteada.

4. CASOS DE ESTUDIO

La selección correcta de los casos permite controlar las variables exógenas y definir los límites de los resultados obtenidos, refinar conceptos y modelos teóricos desarrollados y analizar en profundidad los hallazgos detectados. Los proyectos seleccionados, a pesar de encontrarse en un estado diferente de transformación digital, presentan una serie de características análogas:

- Sector (industria de Defensa)
- Cliente (Armada Española)

- Emplazamiento (diseño y construcción en el astillero de San Fernando)
- Dirección (mismo equipo humano)
- Cadena de suministro (sistema de selección de proveedores y subcontratas)

En este contexto, puede estudiarse la evolución de la digitalización, automatización, explotación e integración de requisitos a través de la criticidad de los riesgos identificados, analizados, priorizados y respondidos, tanto en alcance (indefiniciones, omisiones, etc.) como en calidad (discrepancias respecto acuerdos establecidos y estándares aplicables).

4.1. PRESENTACIÓN DE CASOS

El caso 1 (C1), con el grado de implementación más bajo, es el Buque de Aprovisionamiento en Combate (BAC) Cantabria A-15, buque logístico cuya construcción empieza en 2005 y es puesto en servicio en 2010. El caso 2 (C2) son dos Buques de Acción Marítima (BAM), Audaz y Feroz, patrulleros que comienzan a construirse en 2014 y se ponen en servicio en 2017. El caso 3 (C3), con el grado de implementación más alto, son doce Lanchas de Desembarco (LCM), cuya misión es situar en la playa, a la mayor brevedad, los elementos que integran la fuerza de desembarco, comenzados en 2011 y puestos en servicio entre 2014 y 2015.

4.2. SITUACIÓN INICIAL

La industria naval se encuentra todavía lejos de implementar algunas propuestas lanzadas en otros sectores industriales. Para acercar el modelo actual a los requisitos de la Industria 4.0, es necesario aplicar una serie de herramientas de análisis y diagnóstico de sistemas de fabricación y simulación de productos, para lo que se diseñan líneas de investigación colaborativa orientadas hacia la integración de sistemas y procesos productivos [24], entre las que se encuentra la transformación digital de requisitos. Para estudiar el estado previo a la implantación del sistema, se realiza un análisis DAFO, que recoge la Tabla II, en la que aparecen elementos comunes, como las necesidades de gestionar el conocimiento y reducir costes asociados:

4.3. MODELIZACIÓN DEL SISTEMA

Alcanzar el status de "Astillero 4.0" pasa por la necesidad de encontrar soluciones de fabricación que posicionen a Navantia

DEBILIDADES	FORTALEZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de conocimiento, habilidades y experiencia en la aplicación de inteligencia artificial • Falta de concienciación en la organización sobre la oportunidad de mejora que representa la transformación digital de requisitos para mantener una posición estratégica sostenible • Necesidad de financiación externa • Laxitud en la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Cartera de productos con alto valor agregado • Implantación de una metodología encaminada a la fabricación sostenible con "cero defectos" • Logro de productos "inteligentes", con incrementos en flexibilidad (personalización de la oferta), agilidad de respuesta (reducción de plazos), eficiencia (optimización de recursos), calidad, fiabilidad y control de costes
AMENAZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Salida potencial de las condiciones de mercado • Dificultad para encontrar talento formado en las tecnologías propias de la transformación digital y en la creación de aplicaciones de inteligencia artificial • Dificultad para cerrar acuerdos de colaboración con universidades y centros de investigación • Dificultad para contar con la suficiente financiación tanto a medio como a largo plazo 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora del proceso productivo, hacia la consecución de la "fabricación inteligente en la Industria 4.0", actuando sobre la cadena de valor, fomentando la competitividad, propulsando el desarrollo tecnológico y propiciando la necesaria innovación tecnológica para permitir la transformación digital • Mejora de las condiciones de mercado a las que apunta el "Astillero 4.0", estableciendo una ventaja competitiva, diferenciadora y sostenible que consolide el modelo de negocio

Tabla II: Análisis DAFO de la transformación digital de requisitos en las plataformas navales de Navantia

en condiciones de afrontar un mercado global, destacando la integración TIC en la organización y el aumento de la capacidad de computación y conectividad a través de un mejor aprovechamiento de su capacidad de transformación digital, mejorando la cadena productiva. La aplicación de técnicas para la gestión del conocimiento sirve de hilo conductor, facilita la cadena de valor y la productividad, proporcionando un producto más inteligente y mejor adaptado, personalizado y conectado, y ejerce una incidencia notable sobre el control de costes y plazos de entrega, factores de clara repercusión estratégica [31]. En este campo, los sistemas de IA suponen un gran impacto, a partir de otros programas de naturaleza similar [32]:

- "Watson" de IBM®, que desarrolla un sistema de IA capacitado para responder a preguntas formuladas en lenguaje natural
- "DeepQA" de IBM®, basado en el procesamiento masivo paralelo del sistema "POWER 7" y desarrollado en los lenguajes Java™ y C++, sobre sistema operativo SUSE® Linux™

Las organizaciones que desarrollan nuevos productos mejoran fomentando la gestión del conocimiento ligado al CV del producto [33]. La integración del conocimiento permite acortar el tiempo de acceso, diseño y distribución de la información, eliminar errores y

mejorar la comunicación entre los interesados [34]. En Navantia, el proceso de transformación comienza con una acción intra-emprendedora de digitalización de la información de los astilleros en bases de datos accesible a los centros de ingeniería, que constituye la base sobre la cual apoyar futuros proyectos [35].

4.4. EVOLUCIÓN DE LA IMPLANTACIÓN

La transformación digital de requisitos en Navantia se realiza, a partir de la situación inicial, en dos etapas principales mostradas esquemáticamente en la Fig.4.

Etapa 0: Gestión semiautomática de requisitos (situación inicial):

- Generación de documentación de análisis, especificación, desarrollo y control de requisitos
- Explotación de resultados semiautomática, con involucración humana

Etapa 1: Automatización del uso de requisitos:

- Digitalización de información
- Desarrollo de una herramienta, para aplicar criterios de automatización en el uso de requisitos digitales, poniendo a

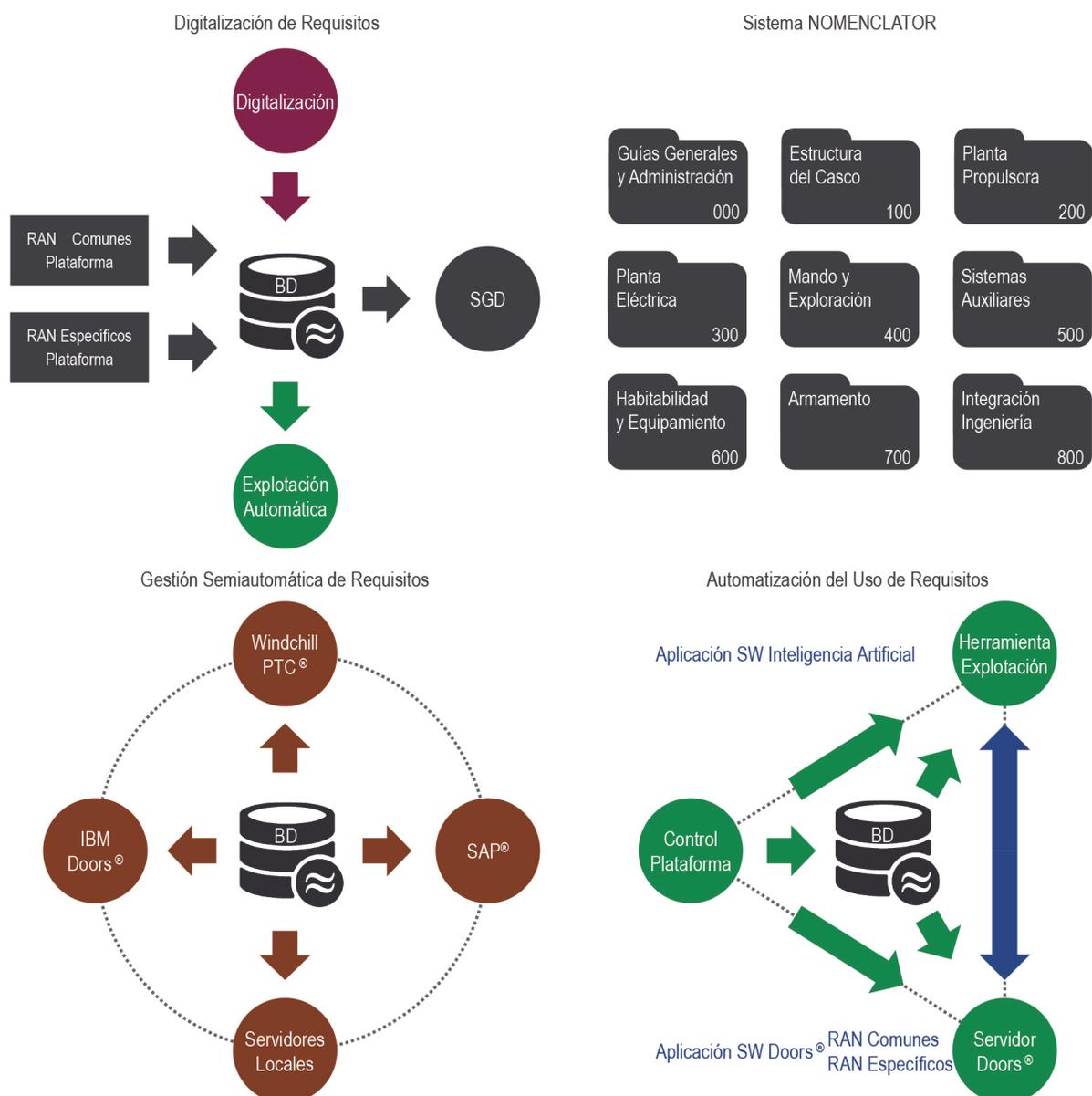


Fig. 4: Evolución de la implantación de la transformación digital de requisitos

disposición de los desarrolladores, en las fases iniciales, una colección de RAN automatizados recomendada por la herramienta

- Experiencia aprovechada eficientemente, al disponerse, desde el comienzo del desarrollo, de módulos de requisitos recomendados "ad hoc" por la herramienta, utilizables en DOORS®
- Generación automática de módulos de requisitos, exportables a DOORS®, base para la adecuación de los requisitos específicos seleccionados por la herramienta

- Cartera de productos adaptada, desde el comienzo de la cadena de valor
- Escalabilidad, a medida que la herramienta gana conocimiento, considerando no sólo los RAN, sino también requisitos de diseño (RD) y pruebas de aceptación

5. RESULTADOS

A continuación, se exponen los resultados presentados en las etapas 1 y 2, anteriormente expuestas.

Etapas 2: Diseño-desarrollo-integración inteligente (situación final):

- Explotación de requisitos automatizados, gestionados integrada, eficiente y flexiblemente

5.1. AUTOMATIZACIÓN DE REQUISITOS

A medida que la transformación avanza y se dispone de un mínimo de información digitalizada, se desarrolla una herramienta de IA para aplicar criterios de automatización, poniendo a dispo-

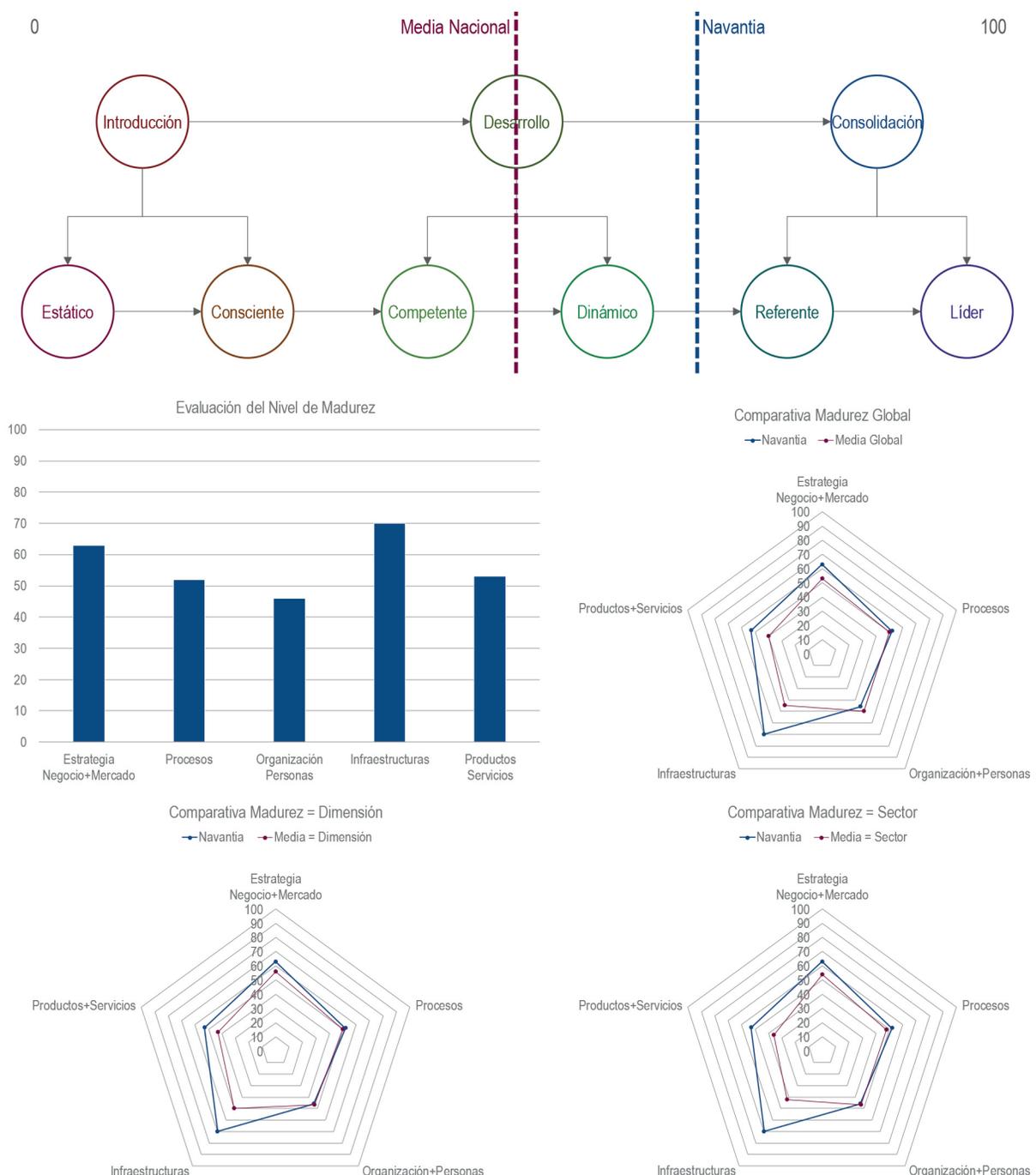


Fig. 5: Resultados de Navantia en la HADA (22/05/2017)

sición de los desarrolladores una colección de RAN automatizados recomendados. Con unas "reglas de actuación", la herramienta decide y propone el uso/ rechazo de requisitos, optimizando solicitudes. En el proceso de selección de los RAN, en función de la catalogación realizada durante la digitalización, la herramienta genera módulos diferenciadores, comunes y específicos. Los módulos de requisitos se exportan a la herramienta, como base para la elaboración, mantenimiento y gestión de su trazabilidad, pudiéndose modificar para adecuarse a las especificaciones de cada proyecto. Al tratarse de una herramienta de IA, sus reglas de actuación, para la toma de decisiones, no son fijas, sino que pueden actualizarse, según su experiencia.

5.2. EXPLOTACIÓN DE REQUISITOS AUTOMATIZADOS

La herramienta de explotación automática, permite la utilización de requisitos automatizados, quedando su gestión plenamente integrada en los procesos de fabricación inteligente, consiguiendo una cartera de productos adaptada al "Astillero 4.0" desde su origen, ampliándose la digitalización de la cadena de valor a otras fases de la producción y alcanzándose la fabricación sostenible, con "cero defectos".

6. DISCUSIÓN

Seguidamente, se analiza la madurez digital de Navantia, según la HADA y la evolución de la criticidad de los riesgos relacionados con los requisitos, en función de su transformación digital.

6.1. MADUREZ DIGITAL

El modelo de madurez digital propuesto por el MINECO, sobre el que se basa el resultado de la HADA, se deduce del análisis de cinco dimensiones clave [28]:

- Estrategia y modelo de negocio, evaluando la capacidad de adaptación al contexto
- Procesos, analizando las capacidades digitales del modelo operativo
- Organización y personas, identificando las capacidades de la organización y de relación con otros agentes
- Infraestructuras
- Productos y servicios, examinándose la incorporación de tecnología y su potencial de digitalización

A partir de las respuestas al cuestionario de autoevaluación de la HADA, de sesenta y ocho preguntas, se sitúa a Navantia en un nivel de madurez digital respecto del paradigma de la Industria 4.0, como muestra la Fig.5, proporcionando información sobre aspectos clave, por dimensión, de las palancas sobre las que actuar. En su conjunto, de acuerdo a las puntuaciones obtenidas en el autodiagnóstico (realizado por un grupo de trabajo ajeno e independiente a esta investigación), la organización se sitúa en un nivel de madurez fronterizo entre "Dinámico" y "Referente".

Tanto en la comparativa global (frente a las más de seiscientas empresas españolas registradas) como en la dimensional y sectorial, se observa que Navantia se halla muy por encima de la media nacional, destacando especialmente en infraestructuras y productos/servicios. Por el contrario, las dimensiones en las que necesita mejorar son procesos y organización y personas, precisamente las planteadas en la Fig.3 como primordiales para elevar su madurez (desarrollo competencial, relacionada con la organización y personas y habilitación digital, relacionada con los procesos). En este artículo se trata una de ellas, los procesos, a través de la transformación digital de requisitos.

Como punto fuerte, destaca el plan de transformación digital de la iniciativa "Astillero 4.0", que contempla:

- Creación de un órgano formal multifuncional, en el ámbito de la innovación colaborativa, con los agentes del ecosistema industrial, tanto proveedores como universidades, centros tecnológicos y clústeres para organizar el conocimiento
- Diseño de modelos 3D/4D, publicados digitalmente para su uso en la cadena de valor
- Implementación de aplicaciones en la nube para integrar proveedores y explotar datos (orientada a gestionar activos y mantenimiento), funcionalidades digitales, herramientas de comunicación con la cadena de suministro y clientes, infraestructuras de servidores físicos y virtuales, metodologías robustas de valoración de inversiones, modelos matemáticos orientados al CV y de relación y colaboración, procesos automatizados en líneas de cabecera, redes de alta velocidad, servicios de ciber-seguridad, sistemas 3D, CAD, ERP y PDM, y soluciones vertebradoras de procesos nucleares
- Interconexión e interoperación de productos y servicios

Asimismo, como puntos débiles, se reseña la necesidad de fomentar una cultura más innovadora y emprendedora (vía ecosistemas de colaboración), formación digital, implantación de herramientas de análisis de datos (MES y MDC), información en tiempo real, implantación de soluciones digitales, integración de herramientas con funcionalidades en servicios, mejora en la flexibilidad y trazabilidad de procesos, gestión de la personalización "masiva", orientación en la disponibilidad y visibilidad de datos, sensorización e integración con otros sistemas y utilización sistemática de la hiperconectividad y de las lecciones aprendidas.

6.2. GESTIÓN DE RIESGOS

La captura de requisitos es un proceso iterativo, incremental y difuso [36]. La experiencia organizacional y la pericia de su personal son dos factores que inciden directamente en su gestión efectiva [37]. En el contexto de la Industria 4.0, la conexión entre personas y sistemas se ha convertido en una red más compleja y dinámica, optimizada en tiempo real, en la que el aumento del volumen de datos y su disponibilidad provoca nuevos requisitos de infraestructura y gestión, por lo que surgen nuevos tipos de riesgos [38].

La gestión de requisitos permite que los riesgos, incluso desde las etapas iniciales, se identifiquen, evalúen y respalden [21]. La Tabla III recopila las escalas utilizadas para determinar la probabilidad e impacto de los riesgos definidos, analizados y tratados, comparándolos con el grado de implantación de la transformación digital de requisitos, para cada riesgo:

- Probabilidad (P), según expectativa de ocurrencia
- Impacto (I), en función del grado de cumplimiento de los requisitos obligatorios y acordados
- Grado de madurez digital (GR), de acuerdo al grado de implantación de la gestión de requisitos

En relación con la gestión de requisitos, la metodología implantada identifica, prioriza y responde un total de cien riesgos (cuarenta riesgos para los casos C1-BAC y C2-BAM y veinte para el caso C3-LCM), recopilados en la Tabla III y clasificados según criticidad (probabilidad por impacto (PxI)) y grado de implantación de la gestión de requisitos (considerando que sólo se incluyen los que impactan en los requisitos (tanto en alcance como en calidad) y obviando aquellos que solamente afectan al coste y/o plazo).

Una vez presentados los riesgos relacionados, se plantea una

ecuación estructural que estudia la relación entre el grado de transformación digital de requisitos y, por un lado, la probabilidad de ocurrencia, y, por otro lado, el impacto ponderado, como muestra la Tabla III. Además de garantizarse la fiabilidad y precisión del instrumento estadístico (razón de la bondad de ajuste Chi-cuadrado entre los grados de libertad, alfa de Cronbach e índice global de la bondad de ajuste), se aprecian unas fuertes relaciones inversas: A mayor grado de implantación, menos probabilidad e impacto de los riesgos relacionados con el alcance y/o calidad de los proyectos. Es necesario destacar la relación de la transformación digital con la probabilidad, lo que se justifica debido a la disminución de incertidumbre asociada al proceso de definición de requisitos.

7. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados, se extraen como principales conclusiones las siguientes:

- La puesta en valor de la digitalización, automatización, explotación e integración de requisitos, mediante las aplicaciones Windchill®, SAP®, DOORS® y la herramienta de IA desarrollada a partir de Watson y DeepQA, permite la mejora de los procesos productivos, orientados a la obtención de un resultado inteligente, que se traduce en mejoras en:

- Adecuación a las necesidades del cliente (fiabilidad, productividad, sostenibilidad, etc.)
- Agilidad de respuesta, al acortar plazos
- Economía, al reducir costes
- Eficiencia, al optimizar recursos
- Flexibilidad, al facilitar la personalización de las ofertas
- Funcionalidad, al posibilitar la creación de nuevas líneas de negocio
- La transformación digital de requisitos disminuye los riesgos asociados a los proyectos complejos, reduciendo drásticamente la probabilidad asociada y mitigando los impactos, con una relación inversa del 92,5% y 64,5%, respectivamente
- La gestión de requisitos en proyectos complejos, en el contexto de la Industria 4.0, gracias a la incorporación de habilitadores digitales, es exportable a otros proyectos navales y a otros sectores industriales, al incidir sobre sus procesos nucleares

Entre los problemas detectados al implantar la transformación digital de requisitos en un entorno 4.0, se encuentran las siguientes dificultades y/o limitaciones:

- Adquisición de conocimiento y pericia en la aplicación de la IA para la gestión de requisitos, tanto internos como en el

Probabilidad	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Escala (1-5)	1	2	3	4	5
P (%)	0% - 20%	20% - 40%	40% - 60%	60% - 80%	80% - 100%
Impacto Requisitos	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Escala (1-5)	1	2	3	4	5
I (Criterios)	Cumplimiento Requisitos Exigidos por Cliente	Pequeñas Deficiencias en Parámetros 2 ^{OS}	Deficiencias Subsanables con Cambios Aceptables	Deficiencias con Descenso en Calidad (Producto Viable)	Rechazo Producto S/Calidad Acordada (No Aceptación)
Gestión Requisitos	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Escala (1-5)	1	2	3	4	5
GR (Etapas)	Digitalización	Semiautomatización	Automatización	Explotación	Integración

Riesgos	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	
Pxl (Criticidad)	C1 (40)	16 40,00%	12 30,00%	07 17,50%	01 02,50%	04 10,00%
	C2 (40)	21 52,50%	16 40,00%	03 07,50%	00 00,00%	00 00,00%
	C3 (20)	13 65,00%	07 35,00%	00 00,00%	00 00,00%	00 00,00%
Gestión Requisitos	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	
GR	C1 (40)	08 20,00%	26 65,00%	05 12,50%	01 02,50%	00 00,00%
	C2 (40)	02 05,00%	09 22,50%	18 45,00%	10 25,00%	01 02,50%
	C3 (20)	00 00,00%	01 05,00%	07 35,00%	09 45,00%	03 15,00%

Ecuación estructural		Caso 1		Caso 2		Caso 3		
		Variables	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
		P	3,675	0,888	2,950	0,815	2,150	0,875
		I	2,075	1,228	1,650	0,662	1,600	0,883
		GR	1,975	0,660	2,975	0,891	3,700	0,801
			CMIN	GL	CMIN/GL	GFI	α	RMSEA
		Índices	0,992	1	0,992	0,980	0,945	0,025
		Casos 1-2-3						
		Relación Causal	GR → P		- 0,925			
			GR → I		- 0,645			

Tabla III: Gestión de riesgos relacionados con la gestión de requisitos en Navantia

ámbito de la investigación académica

- Cierre de acuerdos de colaboración para garantizar la adecuación de las soluciones propuestas a las necesidades de la organización
- Consumo de recursos propios para proyectos de I+D+i en materia de gestión del conocimiento

Como línea futura de investigación, dada la influencia del capital humano en la Industria 4.0 [39-40] y los resultados obtenidos por Navantia en la dimensión "organización y personas" de la HADA, se propone desarrollar un plan de competencias en el ámbito de la dirección de proyectos, que permita a los trabajadores asumir responsabilidades, a los mandos intermedios empoderar (a los trabajadores) y a la dirección adecuar roles (de los mandos intermedios).

BIBLIOGRAFÍA

- Herterich MM, Uebernickel F, Brenner W."The impact of cyber-physical systems on industrial services in manufacturing". *Procedia CIRP*. Vol.30 p.323-328.DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.110>.
- Romero-Yacobi FJ."El nuevo escenario global y un modelo de negocio para la industria naval militar del 2025". Director:Arias-Rodrigo C. Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- lordache O.Implementing polytope projects for smart systems. Cham:Springer, 2017.197p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-52551-8>.
- Roland Berger.España 4.0:El reto de la transformación digital de la economía. Madrid:Roland Berger, 2016.54p.
- Comisión Europea. Comprender las políticas de la Unión Europea:Investigación e innovación. Bruselas:Unión Europea, 2016.16p. DOI: <http://dx.doi.org/10.2775/143509>
- García-Ruiz M."Beneficios de la cooperación industrial.Los programas del Ministerio de Defensa español y su futuro". *Cuadernos de estrategia*.Vol.154 p.139-160.ISSN:1697-6924.
- Lu Y, Riddick F, Ivezic N."The paradigm shift in smart manufacturing system architecture".En:Nääs I, et al.(ed). *Advances in production management systems Initiatives for a sustainable world*.Cham:Springer, 2016.p.767-776. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_90.
- Garbi GP, Loureiro G."Business-product-service portfolio management". En:International Conference on Concurrent Engineering.XX. Melbourne:ISPE, 2013.p.137-146.DOI: <http://dx.doi.org/10.3233/978-1-61499-302-5-137>.
- Hermann M, Pentek T, Otto B."Design principles for industrie 4.0 escenarios". En:Annual International Conference on System Sciences.XLIX. Hawaii:IEEE, 2016.p.3928-3937.DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>.
- Alias C, Salewski U, Ortiz-Ruiz VE, Alarcón-Olalla EF, Neirão-Reymão JE, Noche B."Adapting warehouse management systems to the requirements of the evolving era of industry 4.0". En:International Manufacturing Science and Engineering Conference.XII.Los Ángeles:ASME, 2017.p.1-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/MSEC2017-2611>.
- Comisión Europea.Digitising european industry-catalogue of initiatives [en línea].Bruselas:Tasig A, 2016-12-7. Disponible en web: <https://ec.europa.eu/futurium/en/content/digitising-european-industry-catalogue-initiatives>> [consulta:2018-01-20].
- Rosa-Mozo J, Amado-Palacio Á, Vara-García F, Mompeán-Escartí MI, Gómez-Vera I."Retos globales de la Industria 4.0: Una oportunidad de transferencia de conocimiento al sector naval". En:Congreso de Ingeniería Naval e Industria Marítima.LVI.Madrid:AINE, 2017.p.1-28.
- Cagalj A, Veza I, Markovina R."Interactive networked company in shipbuilding industry". *Strojarsstvo*.Vol.59-1 p.15-26.ISSN:0562-1887.
- Ramsay S."A Case for a new warship-building strategy". *Maritime Affairs*. Vol.8-1 p.150-156.DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09733159.2012.690566>.
- Fraga-Lamas P."Enabling technologies and cyber-physical systems for mission-critical scenarios". Director:Castedo-Ribas L.Universidade da Coruña, 2017.
- Hmeshah K, Erbach N, Bronsart R."Impact of production requirements on high-quality ship product data models". *Journal of Engineering for the Maritime Environment*.Vol.230-3 p.508-522.DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/1475090215597593>.
- Méndez C, García-Ruiz M, Denis-Zambrana J, Argila-Lefler F. La industria de defensa en España y sus capacidades tecnológicas.Madrid: Observatorio de Política Exterior Española, 2013.77p.
- Ministerio de Defensa. Estrategia industrial de Defensa 2015. Madrid:Ministerio de Defensa, 2015.50p.
- Inayat I, Salim SS."A review of the most relevant features of agile tools supporting requirements management. *International Journal of Software and Technology*.Vol.2-1 p.1-11.ISSN:2289-2842.
- Arnaut BM, Ferrari DB, Oliveira-Souza ML."A requirements engineering and management process in concept phase of complex systems". En:International Symposium on Systems Engineering.II.Edimburgo:IEEE, 2016.p.1-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SysEng.2016.7753130>.
- Velázquez-García LA."Gestión y tecnología para la ingeniería de requerimientos en servicios computacionales". *Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática*.Vol.5-10, p.1-19. DOI: <http://dx.doi.org/10.23913/reci.v5i10.49>.
- Wang Y, Ma H-S, Yang J-H, Wang K-S."Industry 4.0: a way from mass customization to mass personalization production". *Advances in Manufacturing*.Vol.5-4 p.311-320. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s40436-017-0204-7>.
- Francalanza E, Borg J, Constantinescu C."A knowledge-based tool for designing cyber physical production systems". *Computers in Industry*. Vol.84 p.39-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2016.08.001>.
- Pérez-Fernández V, Salguero-Gómez J, Fraga FA, Marin-Butrón A, Marcos-Bárcena M."Methodology for developing naval projects in the field of industry 4.0". En:Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos.XXI. Cádiz:AEIPRO, 2017.p.321-31.ISSN: 978-8469761212.
- Yamamoto S."Enterprise requirements management knowledge towards digital transformation". En:Kim KJ, Kim H, Baek N (ed).IT Convergence and Security 2017.Singapur:Springer, 2018.p.309-317. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-6451-7_36.
- Bauer W, Schlund S, Vocke C."Working life within a hybrid world-How digital transformation and agile structures affect human functions and increase quality of work and business performance". En:Kantola JI, Barath T, Nazir S (ed).Advances in human factors, business management and leadership. Cham:Springer, 2018. p.3-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-60372-8>.
- Cerezo-Narváez A, Otero-Mateo M, Pastor-Fernández A."Development of professional competences for industry 4.0 project management". En:International Conference on Industrial Engineering and Systems Management.VII.Saarbrücken:IEE, 2017.p.487-492.
- MINECO.Herramienta de autodiagnóstico avanzado para la evaluación de la madurez digital. Madrid:MINECO, 2017.22p.
- ISO.Risk management:Principles and guidelines.ISO 31000. Ginebra:ISO, 2009.24p.
- Hernández JGV, Pérez OEA, Rangel AC."A review of research methods in strategic management.What have been done and what is still missing". *Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology*. Vol.6-2 p.1-42.ISSN:2069-5934.
- Coz-Fernández JR."Modelo de gestión del conocimiento para el impacto económico.Aplicación al sector de Defensa". Directora:Valiño-Castro A.Universidad Complutense de Madrid, 2016.
- Faulconbridge I, Ryan M.Introduction to systems engineering. Londres:Argos Press, 2015.105p.ISBN:978-1921138089.
- Martínez-Caro E, Campuzano-Bolarín F, Villaescusa-Chocano JA."Mejora del desarrollo de productos desde una perspectiva de gestión del conocimiento. El caso de Navantia". *DYNA*. Vol. 86-3.p.699-706. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/4031>.
- Sánchez-Villegas J."Gestión de la configuración en construcciones navales para la defensa". En:Jornada sobre la gestión de la configuración. Torrejón de Ardoz:AEC, 2012. p.1-10.
- Cárceles Á. "Gestión Integrada de la Configuración en Navantia". En:Jornada sobre la gestión de la configuración.Madrid:AEC, 2015.12p.
- Parsanezhad P, Tarandí V, Lund R."Formalized requirements management in the briefing and design phase, a pivotal review of literature". *Journal of Information Technology in Construction*.Vol.21 p.272-291.ISSN:1874-4753.
- Batalović M, Sokolija K, Hadžialić M, Batalović N."A survey on implicit requirements management practices in small and medium-sized enterprises". *Tehnicki vjesnik*.Vol.24-51 p.589-598. DOI: <http://dx.doi.org/10.17559/TV-20150823114946>.
- Tupa J, Simota J, Steiner F."Aspects of risk management implementation for Industry 4.0". *Procedia Manufacturing*.Vol.11-6 p.1223-1230. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.248>.
- Longo F, Nicoletti L, Padovano A."Smart operators in industry 4.0:A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context". *Computers and Industrial Engineering*. Vol.113 p.144-159. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.016>.
- Benešová A, Tupa J."Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0". *Procedia Manufacturing*.Vol.11-6 p.2195-2202. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.366>.