

07-003

THE IMPORTANCE AND NEED OF COMPUTERIZING COMPLEX PROJECT REQUIREMENTS SUCH AS PLATFORMS AND NAVAL SYSTEMS UNDER 4.0 ENVIRONMENTS

Rodríguez-Pecci, Francisco ⁽¹⁾; Pastor-Fernández, Andrés ⁽²⁾; Otero-Mateo, Manuel ⁽²⁾; Cerezo-Narváez, Alberto ⁽²⁾; Ballesteros-Pérez, Pablo ⁽²⁾

⁽¹⁾ Grupo de investigación TEP-955, ⁽²⁾ Universidad de Cádiz

The management of complex projects such as platforms and naval systems requires facing the future challenges by implementing solutions for improving competitiveness and the value chain and by setting up a distinctive competitive advantage within the framework of the so-called "Fourth Industrial Revolution" as proposed by the project "Industry 4.0 for Spain"; underway by the Ministry of Industry. This implies improving the integration of the information technology and communication (ITC) with the productive processes of 21 century shipyards by incorporating the technological innovations that are taking place in the field of digital technologies, what will bring insight into of the future Shipyard 4.0". Within the context of improving the production process, the idea of automating and computerizing the current way of managing the functional requirements for platforms and naval systems by applying more modern automating and computerizing techniques is a "lever of substantial change" for the improvement of the value chain and the competitiveness sought by the "Shipyard 4.0" to position itself within the market conditions.

Keywords: digitalization; automation; functional requirements; complex projects

IMPORTANCIA Y NECESIDAD, PARA PROYECTOS COMPLEJOS COMO PLATAFORMAS Y SISTEMAS NAVALES, DE LA DIGITALIZACIÓN DE LOS REQUISITOS EN ENTORNOS 4.0

Las direcciones de proyectos complejos como plataformas y sistemas navales necesitan afrontar los retos que le depara el futuro, implementando soluciones para la mejora de la competitividad, la mejora de la cadena de valor y el establecimiento de una ventaja competitiva diferenciadora en el marco de la denominada "cuarta revolución industrial" que propone el proyecto "Industria 4.0 para España"; en marcha por parte del Ministerio de Industria. Esto implica mejorar la integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en los procesos productivos de los Astilleros del siglo XXI, incorporando las innovaciones tecnológicas que están teniendo lugar en el campo de las tecnologías digitales; lo que permitirá tener una visión de futuro hacia el "Astillero 4.0". En este contexto de mejora del proceso productivo, la idea de automatizar y digitalizar la forma actual de gestionar los requisitos funcionales de las plataformas y sistemas navales, mediante la aplicación de las técnicas más modernas de digitalización y automatización de requisitos, es una "palanca de cambio diferencial" para la mejora de la cadena de valor y de la competitividad que busca el "Astillero 4.0" para posicionarse dentro de las condiciones de Mercado.

Palabras clave: digitalización; automatización; requisitos funcionales; proyectos complejos

Correspondencia: Andrés Pastor Fernández andres.pastor@uca.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La adaptación del modelo actual al denominado del “Astillero 4.0” pasa, entre otras cuestiones, por la necesidad de buscar soluciones globales que posicionen a la organización dentro de las condiciones de mercado - nacional e internacional- con los requerimientos propios de la nueva revolución industrial (Criado García-Legaz y Merino Rego, 2018).

Dentro de las distintas actuaciones en este ámbito, se destacan las relacionadas con la mejora de la integración actual de las TICs (Del Val Román, 2016). que persiguen aglutinar el aumento de la capacidad de computación y de la conectividad que ofrece la digitalización y la automatización de los procesos de fabricación. En este sentido, será preciso aprovechar la capacidad de transformación digital de la empresa, para que incida en la mejora de la cadena productiva, sin que ello dispare los costes operativos.

La aplicación de técnicas de digitalización y automatización de requisitos, a las plataformas y sistemas navales de los proyectos y/o programas, servirán de hilo conductor y facilitará la mejora del uso de los recursos en la cadena de valor y repercutirá positivamente en la productividad de la organización al proporcionar un producto más “inteligente”, adaptado para cumplir las necesidades de personalización del cliente, en el caso del sector naval conocido bajo la figura del Armador. La implantación de ambas técnicas persigue, como principal objetivo, la mejora de los procesos productivos, mediante la integración automatizada de los Requisitos de Alto Nivel (RAN) de las Plataformas del Astillero, para la “fabricación inteligente” en el “Astillero 4.0”.

En la Estrategia Nacional de la Industria Conectada 4.0 (ENIC 4.0), trasladada a una empresa que apueste por un plan para el desarrollo del Astillero 4.0 (Sánchez-Sotano et al. 2020), se incluyen la digitalización y automatización de requisitos como elementos claves para el desarrollo de lo que será la “fabricación inteligente”. En el caso del entorno de la “Industria 4.0” en proyectos complejos, se traducirá en la mejora, dentro de las condiciones de mercado, de la calidad del producto, la competitividad sostenible y las oportunidades comerciales a nivel mundial.

En el contexto de la Industria 4.0, con mayores índices de digitalización, conectividad y automatización, los costes marginales perderán peso y la economía global se moverá hacia lo que se ha dado en llamar “economía de costes marginales cero”, donde el éxito de la digitalización, la automatización y la gestión del conocimiento, tienen una incidencia notable como factor de repercusión estratégica; el del control de los costes (Coz, 2016).

Por tanto, las organizaciones que consigan controlar mejor sus costes, estarán en una posición competitiva y más ventajosa al estar en mejor disposición para “monopolizar” el mercado y compartir los costes no recurrentes entre un mayor número de clientes.

En este campo, tiene un gran impacto la tecnología de los sistemas de inteligencia artificial, ya que, sin estos, sólo es posible dar una estimación grosera de costes y plazos de ejecución, basada en la información disponible de otros programas de naturaleza similar (Ryan & Faulconbridge, 2014), teniendo como única fuente las lecciones aprendidas en proyectos anteriores y con tecnologías diferentes a las necesidades específicas del Armador

Como antecedentes a las nuevas tendencias de la Industria 4.0, podemos citar diferentes ejemplos significativos como son el que abordó el Programa “Watson” de IBM, que se inició en el año 2007 y se completó con éxito en el año 2010, con un equipo de desarrollo de quince personas, desarrolló un sistema de inteligencia artificial capaz de responder en sólo 3 segundos a preguntas formuladas en lenguaje natural (Collinászy, Bundzel & Zolotová (2017). También cabe recordar el que se basó en el procesamiento masivo paralelo de POWER 7 y el software DeepQA de IBM, desarrollado en Java y C++ sobre SUSE Linux, con un coste

estimado de hardware cercano a los 3M\$ (con reducciones/penalizaciones contractuales de 0,5M\$ por el tiempo de respuesta del sistema). Sin embargo, el coste principal está relacionado con el software en un plazo previsible de diez años.

Actualmente Watson se está utilizando en un programa de investigación de 24 meses de duración, para el desarrollo de un producto comercial en el ámbito de la salud.

Por otra parte, en Suecia, el objetivo del Programa “Produktion 2030” es fortalecer el uso de las tecnologías digitales en entornos de producción industrial, favoreciendo el inter-emprendimiento entre la Industria, la Universidad, las Entidades Investigadoras y Financieras. Desde 2010, el programa otorga un premio a la mejor tesis relacionada con la automatización, con un alcance del proyecto individual no inferior a 3 M\$.

Entre las iniciativas más recientes que ilustran el potencial transformador de las tecnologías digitales en los procesos de ingeniería de diseño, se encuentra el programa llevado a cabo por Dassault Aviation para la integración del proceso de diseño digital completo y las pruebas del avión Falcon 7X.

Entre las investigaciones de mayor relevancia, en las que se aborda la importancia de la industria 4.0 y aspectos novedosos relacionados con la temática de la investigación están los trabajos de investigación realizados por diferentes autores entre los que se destacan Lasi al (2014), Wang et al. (2016), Stock y Seliger (2016) y

2. Objetivos

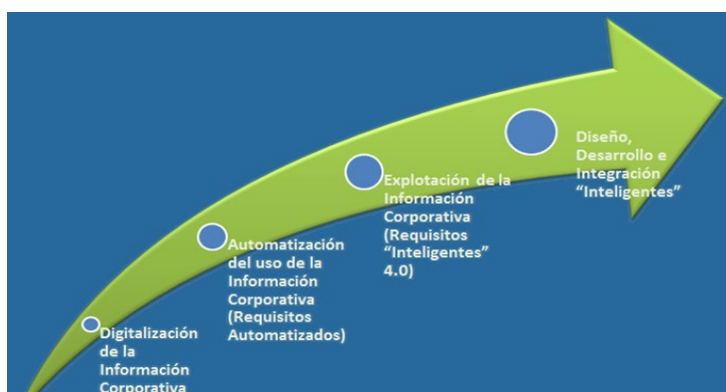
El objetivo del presente trabajo es analizar la importancia de la gestión de requisitos en la dirección y gestión de proyectos complejos, su aplicación en el entorno de la Industria 4.0 (automatización y explotación), para finalmente mostrar los resultados de su implantación en una gran industria del sector naval en España.

3. Gestión de requisitos en proyectos complejos

Los RAN son el pilar sobre el que se asientan los Programas/Proyectos, ya que su definición completa y exacta, su mantenimiento y trazabilidad, son de vital importancia para conseguir el éxito. Las consecuencias derivadas de una deficiente elaboración/gestión de los RAN, difícilmente se podrán mitigar o corregir en el diseño, por bueno que este sea.

La figura 1 muestra el concepto de integración automatizada de los requisitos en la cadena de valor, para la “fabricación inteligente” que propone el concepto “Industria 4.0”

Figura. 1. Integración de los requisitos en la cadena de valor. Fuente Informe Industria conectada.

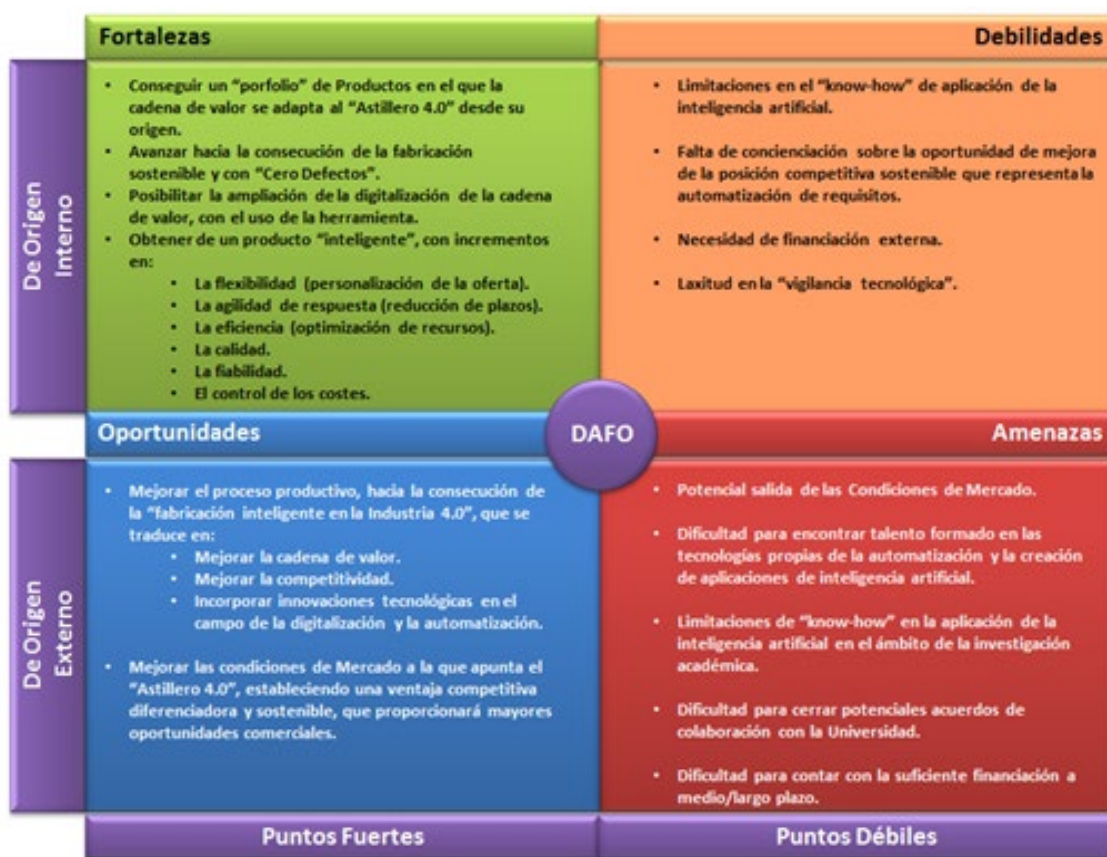


Una de las características de las organizaciones que están inmersas en esta cuarta revolución industrial es el alto grado de interconexión y de capacidad para gestionar grandes volúmenes de información (“Big Data”).

En la siguiente figura 2, se muestra un análisis relativo a la digitalización de los requisitos en plataformas y sistemas en el entorno del Astillero 4.0. Ello nos servirá como herramienta para determinar el contexto de la organización.

En las distintas dimensiones del DAFO, aparecen elementos comunes, como es la gestión del conocimiento y los costes asociados a los requisitos del proyecto. En la figura 3 se muestra la relación entre la Gestión de Requisitos a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto.

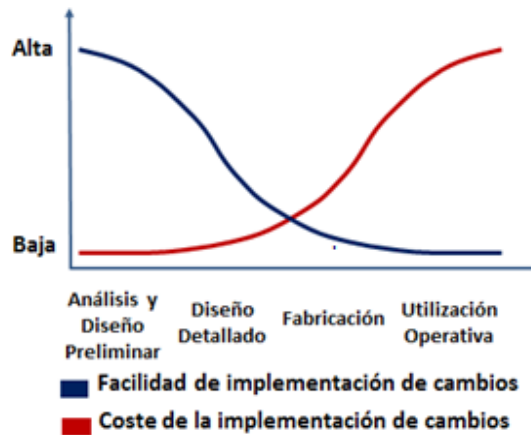
Figura. 2. Análisis DAFO sobre la digitalización de requisitos en plataformas navales.



Tal como se muestra en la Figura 3, la experiencia demuestra que la aplicación de una rigurosa Gestión de Requisitos a lo largo de todo el ciclo de vida, proporciona las siguientes ventajas:

- Reduce el coste de implementación de cambios, ya que, si los requisitos están bien elaborados, la identificación de cambios de ingeniería se producirá en una fase muy temprana del proyecto; antes del diseño de detalle con herramientas CAD (Perez Fernandez & Regueira, 2019), por lo que aún no se habrá incurrido en costes de desarrollo o fabricación.
- Reduce el esfuerzo de ingeniería requerido para analizar y corregir posibles cambios, por el mismo motivo apuntado anteriormente: si los requisitos están bien elaborados, la identificación de cambios de ingeniería se producirá en una fase muy temprana del proyecto, cuando aún no se ha lanzado el diseño/fabricación.

Figura. 3 Relevancia de la Gestión de Requisitos. Fuente PMBOK.



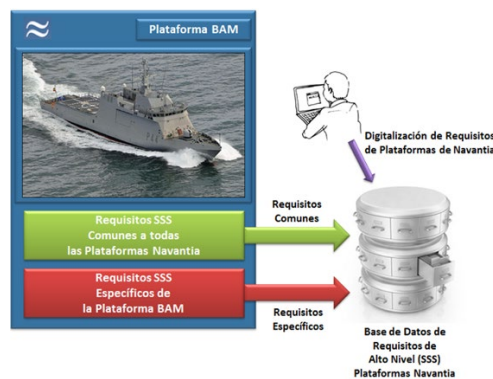
La mejora del desarrollo de productos en la industria naval ha sido abordada por numerosos autores como (Martínez et al. 2011); (Fraga-Lamas 2018). No obstante, en el alcance de este trabajo solamente se profundizará en la digitalización y gestión de requisitos en proyectos complejos navales.

4. Caso de estudio – Gestión de Requisitos

El proceso de transformación que conduce hacia la “fabricación inteligente” comienza con una acción intra-empresarial corporativa de digitalización de la información del Astillero; para la obtención y almacenamiento, en una base de datos accesible a todos los centros de ingeniería, de un conjunto de “Requisitos Digitales” de Alto Nivel (SSS) de las Plataformas del Astillero, que constituirán la base sobre la cual apoyar los futuros programas de desarrollo.

La tarea de la digitalización es de vital importancia, pues de no disponerse de esta información digitalizada (estructurada), no se podrá llevar a cabo la idea de automatizar el uso de requisitos. Extrapolando esta conclusión al entorno de grandes empresas del sector naval nacional, aunque su curva de evolución sea más benévola, de no acometerse ahora el esfuerzo de digitalización de los requisitos de alto nivel, la distancia existente entre los “datos estructurados” y los “no estructurados”, se hará cada vez mayor; con lo que cada vez será más difícil, si no imposible, mejorar el proceso de “desarrollo inteligente” por el que aboga la “Industria 4.0”. La figura 4 muestra gráficamente la gestión de requisitos, para una de las plataformas empresariales de este sector:

Figura. 4 Proceso de digitalización de requisitos



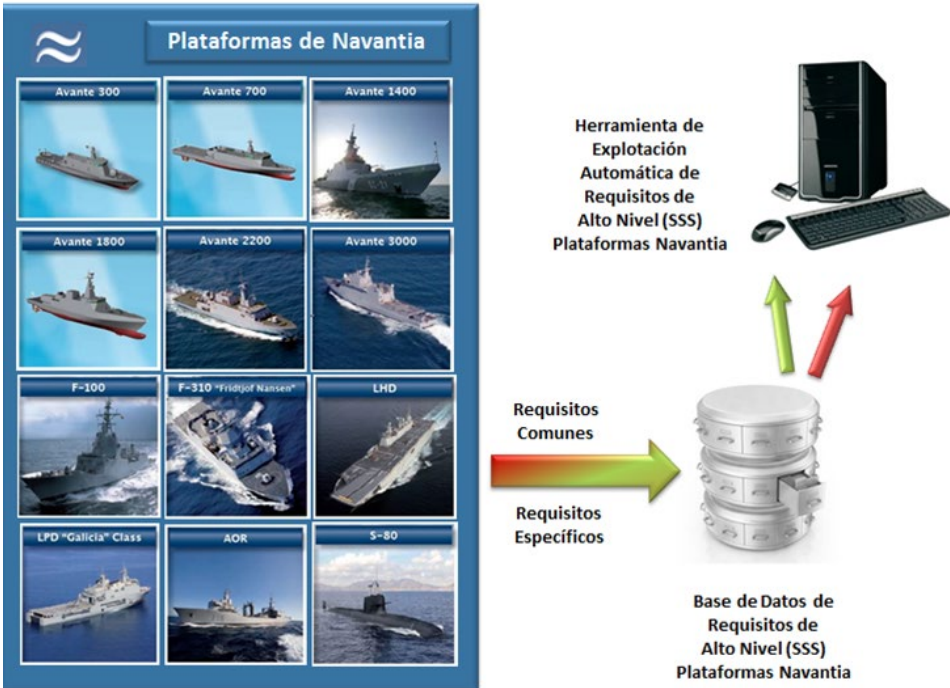
La figura 5 muestra una configuración de la Base de Datos de Requisitos de Alto Nivel (SSS), basada en la estructura de “nomenclátor” seguida por los programas o sistemas genéricos de los productos propios del sector.

Figura. 5. Ejemplo de Base de Datos de Requisitos de Alto Nivel (SSS)



Formando parte de sus objetivos, la digitalización en el Entorno 4.0 persigue la automatización y digitalización de los requisitos de alto nivel de todo el “porfolio” de la organización, tal como se muestra en la figura 6.

Figura. 6 Digitalización total.



4.1 Evolución de la implantación

- ETAPA 0: La situación inicial en la cual se encontraba la organización, es la gestión semiautomática de requisitos, con las siguientes características:
 1. Se cuenta en la actualidad con una serie de herramientas Hw/Sw que facilitan la gestión de requisitos: Windchill, SAP, DOORS y Servidores Locales para el almacenamiento de información. La gestión de requisitos con estas herramientas es semiautomática: los programas generan documentación de análisis, especificación, desarrollo, integración, pruebas y seguimiento de requisitos, y el resultado de la gestión de estas tareas se explota de manera semiautomática, con bastante involucración humana, sólo por el propio programa.
 2. El nivel de integración de la gestión de requisitos es bajo, por lo que la explotación de requisitos por parte de otros programas (para facilitar el inicio del desarrollo) es muy baja y, en caso de realizarse, requiere una gran componente de control y supervisión humana.

- ETAPA 1: La automatización del uso de requisitos:
 1. La digitalización de los requisitos de las plataformas del “porfolio” y el desarrollo de una herramienta capaz de aplicar criterios de automatización en el uso de los requisitos digitales, permitirá poner a disposición de los desarrolladores, en la fase de análisis y definición de los programas, la colección de “Requisitos Automatizados” de Alto Nivel (SSS) recomendada por la herramienta. Por tanto, la experiencia ganada en la gestión de requisitos en los programas previos se aprovecha más eficientemente; al disponerse, desde el comienzo del desarrollo, de módulos de requisitos recomendados “ad hoc” por la herramienta y directamente utilizables en DOORS.
 2. La herramienta generará automáticamente módulos de requisitos fácilmente exportables a DOORS, donde servirán de punto de partida para la adecuación de los requisitos específicos seleccionados por la herramienta, a las exigencias del programa.

- ETAPA 2: Situación final, a través de un diseño-desarrollo-integración “inteligente” (visión de futuro):
 1. Una vez se dispone de la Herramienta de Explotación Automática de Requisitos de Alto Nivel (SSS), se pueden comenzar a explotar los requisitos automatizados, quedando su gestión plenamente integrada, de forma más eficiente y flexible, en el proceso de desarrollo “inteligente” que busca el concepto de “Industria 4.0”.

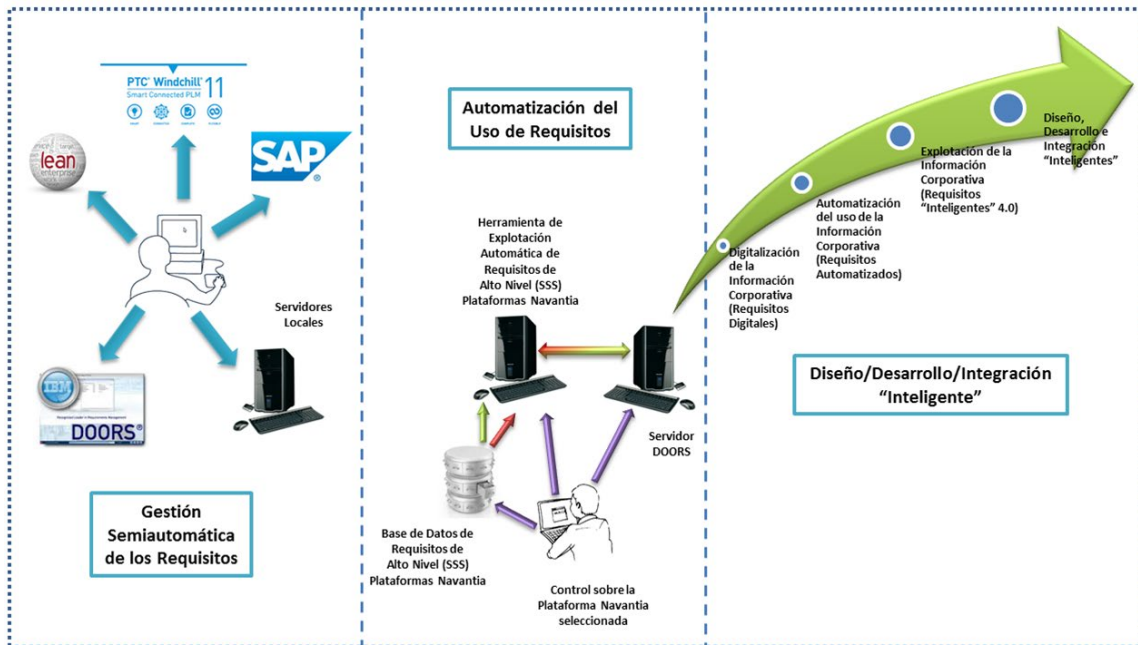
Se consigue, de este modo, un “porfolio” de productos (plataformas de la organización) cuya fabricación está adaptada al mundo digital desde el comienzo de la cadena de valor.

A medida que la herramienta gane conocimiento aprendido en programas previos, se podrá ampliar, en sucesivas etapas de investigación y desarrollo posteriores a este proyecto, la recomendación inicial de la herramienta para que en su propuesta no sólo considere los

requisitos de alto nivel (SSS), sino también los requisitos de diseño (SSDD) y las pruebas de aceptación.

En la figura 7 se muestra esquemáticamente las distintas situaciones:

Figura. 7. Evolución de la implantación de la gestión automatizada de requisitos



5. Resultados de la implantación

5.1 Automatización del uso de requisitos en el caso de estudio

A medida que el proceso de digitalización avanza y se dispone de un mínimo de información digitalizada, se está en disposición de desarrollar una herramienta Hw/Sw, mediante el uso de la tecnología y las técnicas de inteligencia artificial, capaz de aplicar criterios de automatización en el uso de los requisitos digitales obtenidos en el paso previo; y que ponga a disposición de los desarrolladores, en la fase de análisis y definición de los Programas, la colección de "Requisitos Automatizados" de Alto Nivel (SSS) recomendada por la herramienta.

En base a una colección de "reglas de actuación" almacenada en su base de datos, la herramienta será capaz de decidir y proponer el uso o rechazo de los requisitos digitalizados en la fase inicial del proceso; de forma que el conjunto de requisitos seleccionados sea el que optimiza los requerimientos pedidos por el programa.

En este proceso de selección de requisitos de alto nivel, en función de la catalogación de los requisitos realizada durante la digitalización, la herramienta producirá módulos diferenciadores de requisitos de alto nivel:

- Módulo de Requisitos SSS Comunes (a todas las Plataformas).
- Módulo de Requisitos SSS Específicos de la Plataforma.

Estos módulos de requisitos, serán exportables a una herramienta de gestión de requisitos como DOORS, herramienta utilizada actualmente, donde servirán de punto de partida para la elaboración, mantenimiento y gestión de la trazabilidad de requisitos; y donde se podrán modificar y completar para la adecuación de los requisitos específicos seleccionados por la herramienta, a las exigencias del Programa.

Al tratarse de una herramienta de inteligencia artificial, sus reglas de actuación para la toma de decisiones no serán fijas; sino que la propia herramienta será capaz de actualizar el conjunto de reglas, teniendo en cuenta el resultado de la experiencia.

5.2 La Especificación de los Requisitos en la Ingeniería de Sistemas.

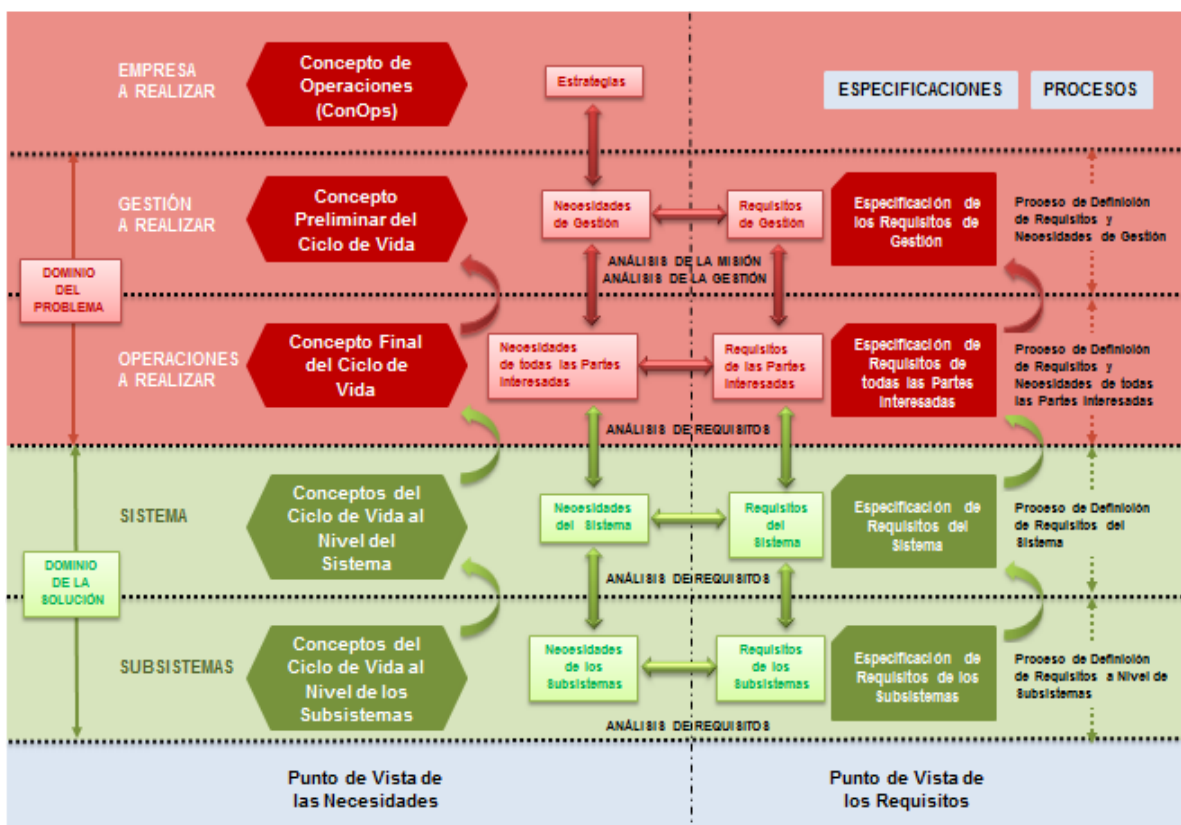
Tras la etapa de la automatización, en la que se ha definido el problema y se han detallado los procesos que dan cobertura a la solución final, tanto de los sistemas como de los subsistemas y se obtienen las especificaciones finales. Estos entregables son los que se detallan en la figura 8, en la que podemos observar los requisitos de ingeniería para los productos propios de ingeniería en las plataformas en el sector naval.

5.3 Explotación de Requisitos Automatizados/desarrollo Inteligente

La Herramienta de Explotación Automática de Requisitos de Alto Nivel (SSS), permitirá la utilización de los requisitos automatizados:

- Quedando su gestión plenamente integrada en el proceso de desarrollo y fabricación "inteligente" del concepto "Industria 4.0".
- Consiguiendo un "portfolio" de Productos en el que la cadena de valor se adapta al "Astillero 4.0" desde su origen.
- Posibilitando ampliar, en un futuro, la digitalización de la cadena de valor a otras fases de la fabricación "inteligente".
- Alcanzar la fabricación sostenible y con "Cero Defectos".

Figura. 8. Requisitos para la ingeniería de productos. Adaptación Faulconbridge et al. 2015.



6. Conclusiones

La puesta en valor de la digitalización y automatización de requisitos funcionales de las Plataformas y sistemas Navales, permite la mejora del proceso productivo, orientado a la obtención de un producto "inteligente", que se traduce en:

- Incrementos en la flexibilidad, al facilitar la personalización de la oferta.
- Incremento en la agilidad de respuesta, al reducir los plazos.
- Incremento en la eficiencia, al optimizar los recursos.
- Mejora de la funcionalidad, facilitando la creación de nuevos negocios.

Además de la mejora de la adecuación a las necesidades del Cliente, rapidez de respuesta, calidad, fiabilidad, reducción de los costes de producción, incremento de la productividad, mejora de la cadena de valor, búsqueda de nuevas oportunidades de negocio, crecimiento de la actividad y competitividad sostenible. Y, por consiguiente, en la mejora de las condiciones de Mercado a la que apunta el "Astillero 4.0".

En el "Astillero 4.0", por tanto, el control para minimizar los costes tendrá una importancia capital; y una herramienta como la digitalización que automatiza el proceso de elaboración de los requisitos funcionales de las Plataformas y Sistemas Navales, ayudaría a conseguir este objetivo de carácter estratégico.

La ejecución de la digitalización requiere asumir planificaciones y recursos propios de proyectos novedosos de investigación, desarrollo e innovación en materias de Gestión del Conocimiento, cuestiones que actualmente están dando pie a relaciones con las Universidades en forma de convenios de colaboración o proyectos conjuntos de I+D+i.

Agradecimientos

Al Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial de la Escuela Superior de Ingeniería de Cádiz y al Grupo de Investigación TEP955-Ingeniería y Tecnología para la Prevención de Riesgos Laborales (INTELPREV), de la Universidad de Cádiz. Esta obra es resultado del Proyecto de Investigación financiado Ref. PID2019-108669RB-100/AEI/10.13039/501100011033 y del Grupo PAIDI TEP-955

12. Referencias Bibliográficas:

- Collinászy, J., Bundzel, M & Zolotová I. (2017). *Acta Electrotechnica et Informatica*, Vol. 17, No. 1, pp.58–63, DOI:10.15546/aeei-2017-0008
- Criado García-Legaz A., Merino Rego, C. (2018, Agosto 275). *Una visión del astillero 4.0 de Navantia*. REVISTA GENERAL DE MARINA, ISSN 0034-9569, Vol. 275, pp. 249-281
- Del Val Román, J.L. (2016). *Industria 4.0: la transformación digital de la industria*. Bilbao: Universidad de Deusto. Obtenido el 7 de abril de 2020, desde <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- Fraga-Lamas, P. Fernández-Caramés, T. M., Blanco-Novoa, Ó. & Vilar-Montesinos, M. A. (2018) "A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 13358-13375,
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H., Feld Th. & Hoffmann M. (2014). *Industry 4.0. BUSINESS & INFORMATION SYSTEMS ENGINEERING*. Vol. 6 (4) pp.239-242. DOI: 10.1007/s12599-014-0334-4
- Martínez, E., Campuzano, F., & Villaescusa, J. A. (2011). *Mejora del desarrollo de productos desde la perspectiva de gestión del conocimiento. El caso de Navantia*. DYNA Ingeniería e Industria, 86, 699-706.
- Perez Fernandez, R. & Regueira, FJ . (2019) *What the CAD industry can do for the Shipyard 4.0. SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND INNOVATIONS IN MARINE*

- TECHNOLOGIES. Edited by:Georgiev, P; Soares, CG. Book Series: Proceedings in Marine Technology and Ocean Engineering. Vol 3 Pages: 452-457*
- Ryan, M. J, & Faulconbridge, I. (2014). *Systems engineering practice*. Yarralumla, AU: Argos Press Pty, Limited.
- Sánchez-Sotano, Cerezo-Narvaez. A., Abad-Fraga, F. Pastor-Fernández, A. & Salguero-Gómez, J. (2020). *New Trends in the Use of Artificial Intelligence for the Industry 4.0*. Intech Open. ISBN: 978-1-83880-142-7. DOI: 10.5772/intechopen.86015
- Stanić, V, Hadjina, M. , Nikša, F. Matulja, T. (2018). *Toward shipbuilding 4.0 - an industry 4.0 changing the face of the shipbuilding industry*. Brodogradnja. Vol. 69, pp. 111-128. DOI. 10.21278/brod69307
- Stock, T & Seliger, G (2016). *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0*. 13TH GLOBAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE MANUFACTURING - DECOUPLING GROWTH FROM RESOURCE USE. Edited by:Seliger, G; Kohl, H; Mallon, J. Vol 40 pp.536-541. DOI: 10.1016/j.procir.2016.01.129
- Wang, SY, Wan, JF ; Zhang, DQ, ; Li, D & Zhang, CH (2016). *Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination*. COMPUTER NETWORKS. Vol 101 pp. 158-168 DOI: 10.1016/j.comnet.2015.12.017

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

