

Transformación digital en la industria naval de la Provincia de Buenos Aires: desafíos y oportunidades^ξ

Digital transformation in the shipbuilding industry of Buenos Aires Province: challenges and opportunities

Franco Manzo^{*}
Lucía Mercedes Mauro^{**}
Agustín Lazzari^{***}

Resumen

A nivel global, la industria manufacturera está experimentando grandes transformaciones impulsadas por la irrupción de las tecnologías 4.0. La industria naval, si bien no se encuentra a la vanguardia de este proceso, está atravesando una incipiente difusión de la digitalización y automatización de los procesos productivos. En este trabajo nos proponemos analizar el proceso de transformación digital de la industria naval pesada bonaerense a partir de un estudio de caso múltiple, con la entrevista en profundidad como instrumento de recolección de información. Esta técnica cualitativa es complementada con estadísticas descriptivas a partir de datos cuantitativos. Los principales resultados indican un bajo grado promedio de avance en el proceso de transformación digital, con diferencias según tamaño de empresa, eslabón de la cadena de valor y segmento de mercado. Entre los principales factores críticos que obstaculizan el proceso de adopción de nuevas tecnologías en el sector se encuentran las características propias del proceso productivo, la cultura organizacional, y la falta de conocimiento sobre las nuevas tecnologías y los beneficios de su aplicación. El contexto de recuperación que atraviesa el sector naval bonaerense durante los últimos años constituye una oportunidad para avanzar en el proceso de transformación digital en el mediano plazo, con el fin de lograr acortar distancias con la frontera tecnológica internacional. Para ello, la industria naval requiere madurar el conocimiento de tecnologías 3.0, automatizar procesos productivos básicos y orientar esfuerzos hacia la capacitación de recursos humanos, la adopción de sistemas de mejora continua y la obtención de certificaciones de calidad.

Palabras clave: Transformación Digital; Industria Naval; PyMEs; Innovación; Argentina

Códigos JEL: O33; L62

^ξ Recibido 27 de septiembre 2024 / Aceptado 07 de diciembre 2024.

^{*} Licenciado. Grupo Análisis Industrial, Centro de Investigaciones Económicas y Sociales, Universidad Nacional de Mar del Plata. Correo electrónico: francomanzo@mdp.edu.ar

^{**} Mg. Universidad Nacional de Mar del Plata. Correo electrónico: mmauro@mdp.edu.ar

^{***} Universidad Nacional de Mar del Plata. Correo electrónico: agustinlazzari@mdp.edu.ar

Abstract

Globally, the manufacturing industry is undergoing significant transformations driven by the emergence of Industry 4.0 technologies. While the shipbuilding industry is not at the forefront of this process, it is experiencing an initial diffusion of digitalization and automation in production processes. This study aims to analyze the digital transformation process of the heavy shipbuilding industry in Buenos Aires Province through a multiple case study approach, using in-depth interviews as the primary data collection method. This qualitative technique is complemented by descriptive statistics derived from quantitative data. The main findings reveal a low average level of progress in the digital transformation process, with differences based on firm size, role in the value chain, and target market. Key critical factors hindering the adoption of new technologies in this industry include the specific characteristics of production processes, organizational culture, and a lack of knowledge about new technologies and their benefits. The recovery phase that the Buenos Aires shipbuilding industry has experienced in recent years represents an opportunity to advance the digital transformation process in the medium term, aiming to narrow the gap with the international technological frontier. To achieve this, the shipbuilding industry must deepen its understanding of 3.0 technologies, automate basic production processes, and focus efforts on workforce training, adopting continuous improvement systems, and obtaining quality certifications.

Key words: Digital Transformation; Shipbuilding Industry; SMEs; Innovation; Argentina

JEL Codes: O33; L62

Introducción

En el mundo, la industria está experimentando cambios sustanciales impulsados por la irrupción de las tecnologías digitales, las cuales se complementan con tecnologías más tradicionales y dan lugar a un nuevo paradigma productivo denominado Industria 4.0 (Basco *et al.*, 2018; Lasi *et al.*, 2014; Schwab, 2016). A nivel de la firma, la aplicación de estas tecnologías tiene como resultado un proceso productivo más eficiente y flexible, con una optimización del consumo energético, menores costos y tiempos de fabricación, y mejor gestión de los recursos materiales (Basco *et al.*, 2018; Lasi *et al.*, 2014;). Entre las principales tecnologías 4.0 se destacan: internet de las cosas (IoT), big data, inteligencia artificial (IA), robótica colaborativa, fabricación aditiva, cloud computing, simulación virtual, realidad aumentada, gemelos digitales y ciberseguridad (Basco *et al.*, 2018; Schwab, 2016).

El paradigma Industria 4.0 se ha difundido en las diferentes actividades industriales durante los últimos años. El sector naval pesado¹, si bien no se encuentra a la vanguardia de este proceso, no es ajeno a estas nuevas tendencias. La transformación digital configura un enorme desafío para este sector de actividad, tanto por la adquisición de la tecnología como por la necesidad de adaptar los procesos productivos y las formas de organización y gestión al nuevo paradigma (Fundación Soermar, 2020; Iwankowicz & Rutkowski, 2023; Mauro *et al.*, 2022; Ramirez-Peña *et al.*, 2020).

En Argentina, esta actividad tiene una larga tradición y ha pasado tanto por fases de expansión y auge, como por etapas de crisis y contracción profunda. De acuerdo a datos de 2022 del Mapa productivo-laboral argentino del CEP XXI, la Provincia de Buenos Aires concentra la mayor parte de la actividad naval pesada en el país: alrededor del 81% del empleo y el 71% del total de empresas. Actualmente, el sector se encuentra en una etapa de recuperación y crecimiento, contexto propicio para avanzar en procesos de transformación digital que impliquen mejoras de productividad, reducción de costos, reposicionamiento regional y sostenibilidad ambiental, de forma tal de consolidar y profundizar el crecimiento a mediano plazo.

En este trabajo nos proponemos analizar el proceso de transformación digital de la industria naval pesada bonaerense². Para alcanzarlo, definimos las siguientes metas particulares: (i) distinguir las principales aplicaciones de las tecnologías 4.0 en la actividad naval a nivel mundial, con el fin de identificar la frontera tecnológica internacional; (ii) describir el grado de adopción de tecnologías por parte de la industria naval bonaerense; y (iii) analizar los factores críticos que favorecen u obstaculizan la transformación digital de las firmas del sector. Adoptamos un abordaje metodológico esencialmente cualitativo, complementado con el análisis de estadísticas descriptivas de tipo cuantitativo.

Revisión de la literatura

Transformación digital

Se denomina transformación digital al proceso de cambio tecnológico que se encuentra experimentando la industria manufacturera a nivel mundial desde la segunda década del s. XXI, basado en la digitalización avanzada, las tecnologías inteligentes, los sistemas ciberfísicos, y la creciente capacidad computacional para la recolección y procesamiento masivo de datos en tiempo real. La aplicación de este conjunto de tecnologías, que se complementan con otras más tradicionales, configura una nueva forma de producción en la industria, comúnmente denominada Industria 4.0. Los elementos que la caracterizan son su flexibilidad, descentralización de la producción, la eficiencia en la gestión y uso de los recursos materiales y el conocimiento, la

¹ La industria naval se compone de dos segmentos: la industria pesada -construcción de grandes embarcaciones y artefactos flotantes destinados a otras actividades productivas (e.g. transporte de cargas, pesca, defensa, industria *offshore*)- y la industria liviana -construcción de pequeñas y medianas embarcaciones de recreo y deporte-.

² El trabajo se circunscribe a las empresas privadas del sector, por lo que se excluye al Astillero Río Santiago (ARS). Esta empresa, de gestión pública, tiene una lógica de funcionamiento que la diferencian de las firmas privadas y requeriría un estudio específico.

hiperconectividad y la consideración explícita de la problemática energética y ambiental (Basco *et al.*, 2018; Lasi *et al.*, 2014; Pereira & Romero, 2017; Schwab, 2016). La irrupción del paradigma 4.0 en las empresas genera múltiples innovaciones, tanto en el proceso productivo como en los productos que estas ofrecen. Entre las tecnologías que configuran la Industria 4.0 se encuentran:

- Tecnologías pilares que facilitan o potencian la utilización de otras tecnologías, como la inteligencia artificial (IA), el internet de las cosas (IoT), la información en la nube (cloud) y big data.
- Tecnologías propias de este nuevo paradigma, tales como la fabricación aditiva, la simulación virtual, los gemelos digitales, y la realidad aumentada.
- Tecnologías relativamente más antiguas pero cuya utilización ha mejorado y/o aumentado en el marco del nuevo paradigma, como la robótica.

Transformación digital en la industria naval

La industria naval pesada constituye un sector tradicional en el cual las nuevas tecnologías no suelen adoptarse con rapidez y puede transcurrir un largo período de tiempo hasta que estas son aprobadas y certificadas internacionalmente, especialmente aquellas relacionadas a innovaciones en producto. El sector se encuentra, en consecuencia, rezagado en el proceso de transformación digital con relación a otras actividades industriales y enfrenta a un gran desafío para adaptar su producción al nuevo paradigma (Iwankowicz & Rutkowski, 2023; Sánchez-Sotano *et al.*, 2020; Ramírez-Peña *et al.*, 2020). Esto no implica, sin embargo, que la actividad naval se encuentre ajena a las tecnologías 4.0. Se observa una incipiente difusión de la digitalización y automatización de los procesos productivos bajo el concepto de “Astillero 4.0”. Este último refiere a astilleros que, a partir del uso de tecnologías digitales, procuran ser cada vez más eficientes, flexibles, automatizados, con procesos productivos eco-eficientes y poco perjudiciales para la salud de los trabajadores (Fundación Soermar, 2020; Iwankowicz & Rutkowski, 2023; Ramírez-Peña *et al.*, 2020; Sánchez-Sotano *et al.*, 2020; Stanić *et al.*, 2018). El concepto de “Astillero 4.0” se cimienta sobre tres ejes interrelacionados (Recamán, 2018):

- Integración de la cadena de valor: relaciones permanentes entre cliente o usuario final, astilleros y proveedores.
- Integración al interior de la empresa: se organiza en distintos niveles, el inferior corresponde a la parte física o material (talleres, gradas, diques, muelles), el intermedio contempla el desarrollo del producto virtual (ingeniería, calidad y compras) y el superior se refiere a la administración del negocio.
- Temporal: obedece al ciclo de vida del buque, y contiene la concepción y definición del mismo, su diseño y el servicio a lo largo de la vida útil del barco.

Las tecnologías de mayor aplicación en el sector son: internet de las cosas (IoT), simulación virtual, impresión 3D y robótica avanzada. Otras tecnologías, como los gemelos digitales y la realidad aumentada, aún tienen usos más bien experimentales en esta industria (Sánchez-Sotano *et al.*, 2020; Stanić *et al.*, 2018). Las principales

aplicaciones de estas tecnologías en la industria naval mundial son descriptas con detalle en la sección de resultados.

Factores críticos que inciden en la transformación digital

El proceso de transformación digital está atravesado por un conjunto de factores críticos, internos y externos a las firmas, que facilitan u obstaculizan la adopción de las nuevas tecnologías por parte de ellas (Omrani *et al.*, 2024; Osmundsen *et al.*, 2018).

Dentro de los primeros incluimos: (1) *Características del proceso productivo*: la adopción de muchas tecnologías 4.0 resulta más simple en aquellos procesos en los que se produce de manera seriada y estandarizada, y más rentable en firmas que poseen una gran escala de producción (Hernández Alvarado, 2021); (2) *Planificación estratégica*: algunas firmas se involucran activamente en actividades de transformación digital, convirtiéndolas en una parte fundamental de su negocio, mientras que otras le conceden un rol relativamente marginal. La eficacia en la utilización de tecnologías se ve significativamente incrementada cuando la empresa cuenta con una estructura organizacional adecuada para este fin -e.g. áreas o departamentos dedicados a la realización de actividades de I+D+i- (Liere-Netheler *et al.*, 2018); (3) *Cultura organizacional*: mientras que algunos sectores hacen esfuerzos deliberados por mantenerse en la vanguardia tecnológica, en otros prevalece cierta adherencia a prácticas y técnicas productivas convencionales, un alto grado de aversión al cambio tecnológico y un énfasis excesivo en la obtención de ganancias en el corto plazo (Ramírez-Peña *et al.*, 2020); (4) *Capacidades tecnológicas de base*: las nuevas tecnologías no pueden implementarse exitosamente en una firma que no posee la capacidad de absorción necesaria para optimizar su uso (infraestructura tecnológica básica, recursos humanos calificados, y un conocimiento maduro sobre la utilización de TIC y tecnologías 3.0) (Omrani *et al.*, 2024); y (5) *Disponibilidad de recursos económicos*: a nivel global, el costo de implementación de las tecnologías digitales en el sector naval es muy significativo. La falta de disponibilidad de recursos económicos obstaculiza particularmente la transformación digital de las empresas pequeñas del sector (Iwankowicz & Rutkowski, 2023; Omrani *et al.*, 2024).

Dentro de los segundos se encuentran: (1) *Contexto macroeconómico y sectorial*: una macroeconomía estable y un contexto de crecimiento sectorial impulsa la transformación digital (Omrani *et al.*, 2024; Osmundsen *et al.*, 2018); (2) *Disponibilidad de tecnologías*: la transformación digital se ve impulsada en aquellos casos en los que las firmas conocen con profundidad cuáles son las características de las nuevas tecnologías y los beneficios de su aplicación (Iwankowicz & Rutkowski, 2023); (3) *Influencia de las empresas líderes de la cadena de valor*: la planificación y ejecución común de operaciones entre proveedores y clientes lleva a esfuerzos conjuntos de I+D e innovación, impulsando la transformación digital. Además, en determinadas ramas de actividad -como la automotriz- las empresas líderes de la cadena de valor le exigen a sus proveedores que alcancen ciertos estándares de calidad en sus productos, que son alcanzables únicamente a través de la incorporación de tecnologías 4.0, lo que tracciona la transformación digital a lo largo de los distintos eslabones de la

cadena (Civetta *et al.*, 2023; Liere-Netheler *et al.*, 2018); y (4) *Rol del entorno institucional*: parte de la incorporación de tecnologías 4.0 en las empresas es inducida por modificaciones en el marco regulatorio -nacional o supranacional- y por la aplicación de regímenes de promoción de la innovación (Liere-Netheler *et al.*, 2018; Ramírez-Peña *et al.*, 2020).

La industria naval de la Provincia de Buenos Aires

La industria naval pesada de la Provincia de Buenos Aires, que de acuerdo a datos del Mapa productivo-laboral argentino del CEP XXI en 2022 concentraba el 81% del empleo y el 71% del total de empresas a nivel nacional, cuenta con una larga tradición e historia, numerosas firmas y trabajadores especializados. Se destaca la fabricación y reparación de: embarcaciones pesqueras, buques de transporte de pasajeros, y embarcaciones de transporte de mercaderías. También son relevantes los talleres que fabrican y/o reparan las piezas y partes de las embarcaciones, por ejemplo, piezas metalmecánicas, equipos electrónicos de comunicación y navegación, portones de pesca, equipos de refrigeración, entre otras partes y equipos. La demanda del sector está conformada por tres tipos de empresas: (i) navieras que desarrollan su actividad en la Hidrovía Paraná-Paraguay; (ii) empresas dedicadas a la pesca, mayormente de capital nacional, que operan a lo largo del mar argentino; y (iii) empresas turísticas de transporte de pasajeros que operan en el sur del país (Mauro *et al.*, 2022).

Respecto de la localización de las empresas navales, aquellas pertenecientes al subsegmento transporte encuentran ubicación estratégica en la zona del Río Paraná y el delta del Río de la Plata. Es la sección final de la Hidrovía Paraná-Paraguay y lindante con el puerto de Buenos Aires, principal puerto comercial de Argentina. Por su parte, las empresas del subsegmento pesquero se ubican mayormente en Mar del Plata, principal puerto pesquero del país (Mauro *et al.*, 2023).

Metodología

El abordaje propuesto resulta esencialmente de tipo cualitativo, complementado con estadísticas descriptivas de tipo cuantitativo, e integra información proveniente de fuentes primarias y secundarias. En primer lugar, utilizamos información secundaria proveniente de búsquedas bibliográficas a fin de identificar las principales aplicaciones de las tecnologías 4.0 en el sector naval a nivel mundial (objetivo 1). Sistematizamos la información recopilada en categorías de acuerdo al tipo de tecnología y el grado de adopción en la industria naval.

Para describir el grado de adopción de tecnologías por parte de la industria naval bonaerense (objetivo 2) y analizar los factores críticos que influyen en el proceso (objetivo 3), realizamos un estudio de caso múltiple. Esta metodología permite dar respuesta a los objetivos propuestos a través de un análisis comparado, identificando patrones de comportamiento, y similitudes y diferencias en el proceso de transformación digital (Yin, 2003). Utilizamos información primaria proveniente de entrevistas en

profundidad a actores representativos de la industria naval bonaerense³. Seleccionamos 16 casos correspondientes a: astilleros (50%), navalpartistas (25%), y representantes institucionales (25%), tanto de asociaciones empresariales como de organismos estatales relacionados al sector. Los casos seleccionados conforman un conjunto representativo en términos de localización geográfica, tamaño y rol en la cadena de valor. La multiplicidad de entrevistas realizadas nos permite asegurar la robustez de los resultados obtenidos.

En función de los objetivos del trabajo y de la revisión de la literatura, definimos un conjunto de dimensiones de análisis que incluyen los aspectos relevantes para el estudio. Una vez recopilada la información, avanzamos en tres etapas: (i) un análisis individual de cada entrevista para identificar la información relevante para cada dimensión; (ii) un análisis comparativo de la información y elaboración de matrices de datos síntesis para cada dimensión; y (iii) la lectura analítica de las matrices de datos para obtener conclusiones.

Complementamos los resultados obtenidos en el estudio de caso múltiple con la aplicación de técnicas cuantitativas de análisis. Específicamente, aplicamos estadísticas descriptivas a datos provenientes de un relevamiento a empresas industriales del Partido de General Pueyrredon (PGP) realizado entre abril y noviembre de 2023. El instrumento de recolección -encuesta- contó con un módulo específico de transformación digital. Si bien se trata de datos de un único municipio de la Provincia de Buenos Aires, en él se localizan los principales astilleros privados del país y un importante entramado de empresas navalpartistas, alcanzando el 54% del total de las firmas del sector en la provincia -Mapa productivo-laboral argentino del CEP XXI, año 2022-. El muestreo -dirigido a toda la industria del PGP- fue estratificado por rama de actividad, con inclusión forzosa de las empresas más grandes y selección aleatoria de las restantes. Las empresas analizadas en este trabajo corresponden a las ramas Metalmecánica y Naval, contándose con 31% de astilleros y 69% de talleres navales. El tamaño de las empresas, medido en número de ocupados, permite clasificar al 36% como microempresas (hasta 15 ocupados), al 43% como pequeñas (16 a 60 ocupados) y al restante 21% como medianas -categoría que incluye a los astilleros encuestados-.

Resultados

Principales aplicaciones de tecnologías 4.0 en la industria naval mundial

La mayor parte de las empresas navales que se ubican en la vanguardia tecnológica internacional son asiáticas -Corea del Sur y Japón- o europeas -Noruega y España-. Algunos casos emblemáticos son: Hyundai Heavy Industries (Corea), que tiene como objetivo convertirse en un “astillero inteligente” hacia 2030 y se encuentra trabajando para ello junto a firmas como NAPA y Cadmatic, empresas especializadas en la provisión de softwares específicos para la industria naval internacional, tanto en

³ La información fue recolectada en 2023 y 2024 en el marco de dos proyectos: “Procer” del Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación e “Ideas-Proyectos de investigación, desarrollo y transferencia” de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la Provincia de Buenos Aires.

actividades de diseño de embarcaciones como de gestión de información (The Maritime Executive, 2024); y la estatal española Navantia, que plantea incluso el concepto de Astillero 5.0⁴. A continuación, se describen las aplicaciones de las principales tecnologías 4.0 en el sector.

Robótica. Las características propias del proceso productivo de la industria naval pesada -sobre las que se volverá más adelante- dificultan la aplicación masiva y generalizada de robots, en contraste con otros sectores de la industria manufacturera (Sánchez-Sotano *et al.*, 2020). No obstante, la incorporación de robótica básica se ha incrementado principalmente en tareas consideradas críticas por su riesgo para la seguridad y salud física de los trabajadores. Por ejemplo, en procesos como soldadura y corte de chapa y perfiles, se utilizan robots que cuentan con sensores para percibir su entorno y que pueden emplearse para tecnologías diversas de corte -oxicorte, plasma o láser⁵-. La robótica también se ha ido incorporando en tareas como el chorreado y pintado -de bloques, del casco del buque o del interior de tanques o bodegas- y, en menor medida, en el conformado de chapas y la fabricación de tuberías (Munín-Doce *et al.*, 2021). Hyundai planea la introducción de robots para el moldeo y soldadura de placas de acero en el corto plazo (The Maritime Executive, 2023). Asimismo, es posible emplear robótica colaborativa para asistir a los operarios en la fabricación de conductos: el robot colaborativo ubica cada componente en su posición mientras el operario realiza el punteado del tubo. Se han utilizado, además, vehículos de guiado automático para el transporte de insumos, partes y piezas dentro de los astilleros y talleres navales. Por medio de sensores e inteligencia artificial, estos tienen la capacidad de tomar decisiones de manera autónoma para evitar colisiones y realizar el transporte de piezas de la forma más eficiente posible (Sánchez-Sotano *et al.*, 2020; Munín-Doce *et al.*, 2021).

Internet de las cosas (IoT). La utilización del IoT promueve la eficiencia operativa mediante la transferencia, recopilación, integración y análisis de los datos que se generan durante el proceso productivo. Es decir, la gran cantidad de información generada por las máquinas durante su funcionamiento, en lugar de almacenarse en puntos aislados, es transferida, integrada y sistematizada de manera rápida mediante el IoT, permitiendo su visualización de manera integral. La información recolectada permite concebir el proceso de construcción naval desde un punto de vista holístico, y realizar mejoras en la eficiencia de los procesos productivos de la empresa. Actualmente, su mayor aplicación ocurre en actividades como la soldadura o el corte plasma⁶. Asimismo, el IoT puede utilizarse en dispositivos instalados en la

⁴ Este concepto es muy similar al de Astillero 4.0, pero incorpora como elemento transversal al bienestar de los trabajadores en la interacción entre estos y las nuevas tecnologías durante el proceso productivo (www.navantia.es).

⁵ El oxicorte se basa en la reacción química entre el oxígeno y el metal a elevadas temperaturas. Es un proceso simple, y el equipo es relativamente económico. Produce escorias (residuos con contenido metálico), y el trabajador se expone al amianto (químico potencialmente cancerígeno) y otras sustancias contaminantes. El corte láser es un proceso de corte térmico que utiliza fundición o vaporización altamente localizada para cortar el metal con el calor de un haz de luz coherente, generalmente con la asistencia de un gas de alta presión (como el oxígeno). Es una tecnología limpia, y reduce significativamente los humos que se producen en comparación al oxicorte (Mauro *et al.*, 2022).

⁶ El corte plasma es un método de corte de chapa basado en la acción térmica y mecánica de un chorro de gas calentado por un arco eléctrico de corriente continua establecido entre un electrodo ubicado en la antorcha y la pieza a mecanizar (Mauro *et al.*, 2022).

embarcación, con el fin de generar y enviar información en tiempo real para la planificación de las tareas de mantenimiento y reparación del buque (Munín-Doce *et al.*, 2021; Sánchez-Sotano *et al.*, 2020).

Fabricación aditiva (Impresión 3D). Permite elaborar piezas complejas a bajo costo y sin necesidad de mecanizados. La mayor aplicabilidad en el sector naval ocurre durante la reparación de los buques, ya que la tecnología facilita la impresión de piezas de repuesto específicas -por ejemplo, válvulas o juntas tóricas-. Recientemente, la empresa Danem (Países Bajos), ha logrado homologar una hélice construida íntegramente a través de fabricación aditiva. La empresa estatal española Navantia, por su parte, utiliza fabricación aditiva para la elaboración de las rejillas de ventilación de los buques. Algunos buques militares incluso, están siendo equipados con impresoras 3D a bordo, con el fin de poder fabricar sus propias piezas de repuesto (Munín-Doce *et al.*, 2021).

Exoesqueletos. Estas estructuras físicas son utilizadas para mejorar la ergonomía de los operarios durante tareas repetitivas que pueden generar lesiones físicas, y mejoran simultáneamente la velocidad y eficiencia del proceso productivo. En la actividad naval, astilleros coreanos de las empresas Hyundai, Samsung y Daewoo, los utilizan principalmente en los procesos de montaje y soldadura en techo (Munín-Doce *et al.*, 2021).

Gemelos digitales. A pesar de tener una aplicación incipiente en el sector, tienen un gran potencial de largo plazo, al facilitar las evaluaciones de seguridad y fiabilidad de las embarcaciones y la certificación del cumplimiento de reglamentaciones y estándares internacionales. En los astilleros esta tecnología se materializa con el concepto de dúo conectado, formado por el buque inteligente (físico), su gemelo digital y la conexión entre ambos. Ello permite que la información técnica se integre con la retroalimentación en tiempo real del buque físico y permita efectuar simulaciones que apoyen la toma de decisiones durante el desarrollo de las operaciones (Recamán, 2018). Algunos ejemplos de su aplicación en la actualidad son: (i) la plataforma digital noruega Open Simulation Platform (OSP), resultado de un acuerdo público-privado; (ii) el programa de la Autoridad Marítima Danesa dentro del clúster marítimo Blue Denmark; (iii) la iniciativa del centro tecnológico marino y offshore de Singapur (TCOMS) junto con empresas privadas y la autoridad portuaria del país (*Maritime & Port Authority of Singapore*), y (iv) el programa del astillero español Navantia.

Simulación virtual. La simulación virtual permite diseñar prototipos de embarcaciones y realizar pruebas virtuales, facilitándole a la firma la exploración de múltiples alternativas antes de comprometerse con un producto físico, y evitando a su vez la necesidad de pruebas físicas de mayor costo y tiempo de duración (Munín-Doce *et al.*, 2021). Esta tecnología se utiliza también para el adiestramiento y la formación de la tripulación en tareas operativas. Un ejemplo de esto último es el sistema Navantis, desarrollado por la firma española Navantia.

Realidad aumentada. Esta tecnología permite añadir información al mundo físico a partir de datos que se extraen del propio entorno y que se visualizan en un dispositivo virtual. Es decir, mediante la superposición de un dispositivo virtual en el mundo físico,

se visualiza este último con información añadida. Se utiliza, por ejemplo, en tareas de mantenimiento y reparación de equipos en la firma australiana BAE Systems. Además, la empresa norteamericana Newport New Shipbuilding está inmersa en un proyecto que busca integrar la cadena de suministros a partir del uso de realidad aumentada e inteligencia artificial (Munín-Doce *et al.*, 2021).

Transformación digital en la industria naval de la Provincia de Buenos Aires

En promedio, el grado de avance en el proceso de transformación digital de las empresas de la industria naval bonaerense es bajo, y se encuentran muy distantes de la frontera tecnológica internacional. Predomina la adopción de TIC y tecnologías 3.0 (automatización básica), y la utilización de tecnologías 4.0 es muy incipiente. Sin embargo, existe heterogeneidad en el estado de la tecnología de las firmas de acuerdo al tamaño, segmento de mercado y eslabón de la cadena de valor al que pertenecen.

Por un lado, los grandes astilleros cuentan con un sólido conocimiento de TIC y tecnologías 3.0, poseen sistemas de mejora continua y ciertas certificaciones de calidad, y cuentan con las capacidades suficientes para realizar ensayos mecánicos y no mecánicos y determinadas pruebas de laboratorio. No obstante, la adopción de tecnologías 4.0 es aún baja y se limita mayormente a la utilización de softwares multifuncionales integrados y programas de diseño con módulos de simulación virtual. En el área de producción coexisten tareas que se encuentran automatizadas con otras que se desarrollan en gran medida de manera manual. Entre las primeras, se destacan las actividades de mecanizado, que se realizan mediante máquinas a control numérico (CNC), las cuales utilizan programas informáticos para el control de las herramientas. Otro ejemplo de automatización es el proceso de corte de chapa, en el que suele utilizarse el oxicorte o el corte por plasma⁷. Entre los procesos que se realizan de forma esencialmente manual se encuentran el arenado, soldadura, pintura, y montaje y terminación del buque. En el segmento pesquero, se destaca además el desarrollo de aplicaciones móviles, utilizadas para que el personal registre sus tareas diarias y así poder determinar de manera más sencilla el costo de mano de obra por cada trabajo realizado. También se encuentran en desarrollo aplicaciones móviles orientadas a la relación con el cliente, para que el mismo pueda realizar un seguimiento del estado de su embarcación cuando se encuentra en construcción o reparación.

Por otro lado, los pequeños astilleros y las empresas navalpartistas muestran una situación diferente. El uso de TIC es comparativamente más bajo y se concentra en el área de gestión, siendo además pocas las firmas que cuentan con sistemas de mejora continua y certificaciones de calidad. Con respecto al proceso productivo, resulta pertinente distinguir a las firmas navalpartistas según su actividad principal. Una gran parte de los talleres navales y metalmecánicos combinan procesos productivos manuales con máquinas a control numérico (CNC). En contraste, otro conjunto de navalpartistas muestra tasas más altas de incorporación de tecnologías en el área de producción. En particular aquellas dedicadas a la fabricación de dispositivos electrónicos y

⁷ Estas tecnologías automatizan parcialmente el proceso, pero resultan menos eficientes y más contaminantes que otros métodos como el corte láser o el corte por chorro de agua, que son utilizados únicamente por unas pocas firmas del sector.

electromecánicos, a hidráulica y neumática, y proveedores de equipos varios –por ejemplo, equipos de refrigeración-. Algunas de estas empresas utilizan softwares de simulación para, por ejemplo, modelar y evaluar el comportamiento de las placas electrónicas en aspectos como la radiofrecuencia y la temperatura, identificando áreas de calentamiento y necesidades de disipación de calor. Además, realizan calibraciones y evaluaciones sobre el desempeño de los equipos en tanques especializados, y cuentan con robots para el montaje de componentes en la línea de producción. Se destacan también algunos pocos casos de firmas con impresoras 3D para la elaboración de partes y piezas.

En relación a la adopción de tecnologías en las empresas navales del PGP, las más difundidas corresponden a tecnologías básicas: redes sociales y marketing digital (64%), infraestructura TIC (64%), seguridad informática (50%), y cloud o servicios en la nube (43%). Entre las tecnologías más avanzadas se destacan impresión 3D (36%), internet de las cosas (21%), desarrollo de aplicaciones móviles (14%) y robótica (14%). Por otra parte, el concepto de Industria 4.0 es relativamente conocido en el sector naval del PGP, con un 57% de las empresas que dicen conocer al menos algo de lo que representa y un 14% que declaran conocer poco del concepto. En tanto, para un 29% de las empresas es algo desconocido. Respecto al uso de softwares, el 93% de las empresas utiliza programas de gestión, un 79% en el área de producción y un 14% en comercialización y marketing.

Finalmente, cabe destacar algunas innovaciones en producto desarrolladas por el sector que utilizan tecnologías 4.0. Por ejemplo, en el subsegmento pesquero, un navalpartista ha desarrollado ecosondas con herramientas de inteligencia artificial que identifican especies particulares del recurso pesquero a partir de instrumentos acústicos, evitando la captura accidental de otras especies. Otra innovación destacada consiste en el desarrollo de equipos que utilizan IoT para transmitir datos desde la embarcación hacia tierra sobre la descarga de hidrocarburos al mar. También se plantea como un posible espacio de adopción de tecnologías, en el corto-mediano plazo, el manejo remoto de máquinas y dispositivos. Por ejemplo, equipos de refrigeración que podrían controlarse desde plantas en tierra, de forma de no requerir un operario específico a bordo del buque pesquero para su reparación y mantenimiento.

Factores críticos que inciden en el proceso

En esta sección, se analiza de qué forma opera cada uno de los factores críticos - descriptos en el marco teórico- en el proceso de transformación digital de la industria naval bonaerense.

Características del proceso productivo. Los astilleros dedicados a la fabricación de embarcaciones pesqueras se caracterizan porque gran parte de sus procesos productivos son realizados a medida, en función de las necesidades y demandas específicas de cada cliente. En estos casos, la característica propia del proceso productivo –falta de estandarización y producción a medida-, actúa como un obstáculo que limita la transformación digital. Cabe destacar que algunos astilleros del segmento pesquero, cuentan con una serie de modelos de embarcaciones cuya fabricación repiten de manera periódica, y a partir de los cuales efectúan modificaciones menores de acuerdo a los

pedidos específicos de cada cliente. No obstante, en estos casos en los que sí existe un mayor grado de estandarización y podrían incorporarse tecnologías 4.0 en el área de producción, la escala no resulta suficiente para avanzar en transformación digital de forma rentable⁸. Algo similar ocurre en los astilleros dedicados a la fabricación de barcas y buques de transporte de pasajeros: la robótica y la automatización son susceptibles de ser adoptadas en tareas en las que se produce de manera estandarizada, pero la escala no suele ser suficiente para justificar la inversión. En el caso de las empresas navalpartistas, este factor crítico no suele representar un obstáculo tan relevante a la adopción de nuevas tecnologías. Muchas de ellas producen bienes con un importante grado de estandarización, como aberturas, mobiliario, insumos electrónicos, portones y guinches de pesca, entre muchos otros. En estos casos, la incorporación de tecnologías en el área de producción –por ejemplo, robótica avanzada- resulta factible, si bien nuevamente, la escala no siempre es lo suficientemente grande como para justificar la inversión inicial. En la encuesta realizada a las empresas navales del PGP, un 14% de las empresas identifica a una mayor escala de producción como un factor impulsor de la transformación digital.

Planificación estratégica. La relevancia de este factor en el proceso de transformación digital está asociado parcialmente con el segmento al que pertenece la empresa. Aquellas firmas que producen bienes de mayor contenido tecnológico, como los navalpartistas electrónicos o electromecánicos, le otorgan un rol relevante a la incorporación de tecnologías y suelen asignar recursos a la realización de estas actividades –por ejemplo, a través de un área o departamento dedicado a I+D+i-. En contraste, los talleres navales que se dedican a actividades menos intensivas en conocimiento suelen carecer de una estructura formal destinada a la innovación, lo cual obstaculiza la transformación digital. Esta relación se encuentra mediada, a su vez, por el tamaño de la firma. Las empresas más grandes cuentan con una mayor capacidad para destinar recursos específicos a los procesos de incorporación de nuevas tecnologías. En las empresas de menor tamaño, los recursos –humanos, físicos y económicos- tienden a estar abocados a la operatoria diaria de la firma y a los problemas que de ella se derivan. La falta de una estructura organizacional apropiada constituye entonces un obstáculo para la transformación digital, para los pequeños astilleros y pequeñas navalpartistas bonaerenses.

Cultura organizacional. La cultura organizacional predominante en el sector naval se caracteriza por una fuerte adherencia de las empresas a prácticas y técnicas productivas convencionales, junto con cierta aversión al cambio tecnológico. Algunos de los entrevistados –especialmente navalpartistas y astilleros de menor tamaño- consideran que muchas de las tecnologías 4.0 implican un nivel de complejidad disociado de su realidad productiva. Por el contrario, en aquellos casos en los que las empresas realizan esfuerzos activos por incorporar nuevas tecnologías en sus procesos y productos, muchas veces las innovaciones son desestimadas por la demanda. Por ejemplo, muchos armadores pesqueros no solicitan la incorporación de tecnologías en las embarcaciones

⁸ Se trata de un factor crítico que no afecta la transformación digital de otras áreas de las empresas. La adopción de otras tecnologías 4.0, como los sistemas informáticos integrados o la información en la nube -cloud-, no se ve influenciada directamente por las características propias del proceso productivo de la firma.

e incluso presentan resistencia a su adopción –en ocasiones ello se asocia a resistencias de los propios trabajadores embarcados, lo cual complejiza aún más la cuestión-⁹. De este modo, la cultura empresaria, tanto del sector naval bonaerense como de sus algunos de sus clientes, actúa en numerosas ocasiones como un obstáculo hacia la transformación digital.

Capacidades tecnológicas de base. Las tecnologías 4.0 no pueden utilizarse exitosamente en una firma si esta no posee la capacidad de absorción necesaria para su incorporación. Contar con infraestructura tecnológica básica y con conocimiento maduro sobre la utilización de TIC y tecnologías 3.0, por lo tanto, constituye un umbral mínimo que se requiere para avanzar en el proceso de transformación digital. Los pequeños astilleros y gran parte de las empresas navalpartistas no poseen un conocimiento maduro de tecnologías 3.0 y utilizan TIC únicamente en el área de gestión, por lo que sus capacidades tecnológicas previas actúan como un obstáculo en el proceso de transformación digital. En el caso de los grandes astilleros y algunos navalpartistas específicos, este factor crítico tiene el efecto contrario, es decir, opera como un facilitador. En estas empresas, un sólido conocimiento de tecnologías 3.0 en las distintas áreas de la empresa, así como el uso de sistemas de mejora continua y los procesos de calidad certificados, facilita la adopción de tecnologías 4.0. En lo que respecta a la existencia de recursos humanos formados en competencias digitales dentro de las firmas, no existen grandes diferencias entre los distintos segmentos de empresas. Existe una baja capacidad promedio de los trabajadores del área de producción para decodificar el nuevo conocimiento y aplicarlo de manera eficiente en la empresa, lo que constituye un obstáculo adicional. De hecho, una parte importante de los trabajadores no han finalizado sus estudios secundarios, y este bajo nivel de conocimientos previos puede actuar como un limitante para incorporar y aplicar aquellos relacionados con las tecnologías digitales. También se observa una notable ausencia de profesionales y técnicos capacitados en el uso de tecnologías digitales dentro del mercado laboral. En parte, este vacío es atribuible a la falta de actualización de los planes de estudio en las carreras afines al sector –por ejemplo, ingeniería y arquitectura naval-. En la encuesta realizada a las empresas navales del PGP, un 50% de las empresas identifica a los recursos humanos calificados como uno de los principales factores impulsores de la transformación digital. Asimismo, un 14% de las firmas señala a la adopción de tecnologías de base como un elemento impulsor de la adopción de tecnologías.

Disponibilidad de recursos económicos. El capital propio que las PyMEs pueden destinar al financiamiento de inversiones en tecnología por lo general es mucho menor al de las grandes empresas, operando este factor como un obstáculo. Además, las firmas más pequeñas suelen enfrentar mayores dificultades en el acceso a fuentes de financiamiento externas. Presentar la documentación requerida y realizar rendiciones de fondos son tareas que exigen un nivel mínimo de recursos y capacidades que algunas empresas no poseen o no tienen la posibilidad de destinar a este tipo de actividades. Esta dificultad cobra una mayor relevancia cuando se trata de afrontar la gestión de

⁹ Por ejemplo, la utilización de devanadores automáticos y líneas automáticas para el procesamiento del pescado a bordo -por parte de los trabajadores-, y la incorporación de tanques de GNL en los buques pesqueros -por parte de los empresarios-.

programas públicos de financiamiento, en los que los procesos burocráticos suelen tener una mayor duración y complejidad. La relevancia de este factor crítico varía según la tecnología 4.0 que se pretenda implementar, dado que algunas de ellas requieren una inversión inicial considerablemente mayor que otras. Por ejemplo, la adquisición de una impresora 3D o la incorporación de un software integrado tienen un costo significativamente menor que la incorporación de maquinarias con sensores avanzados que utilicen IoT. En la encuesta realizada a las empresas navales del PGP, un 21% de las firmas identifican a la falta de financiamiento como uno de los principales obstáculos de la transformación digital. De manera análoga, un 50% considera que este proceso podría verse favorecido si se contara con mayor disponibilidad de financiamiento específico a esta actividad.

Contexto macroeconómico y sectorial. La inestabilidad macroeconómica que ha enfrentado el país durante los últimos años ha constituido un obstáculo adicional en el proceso de transformación digital de las firmas del sector. Las empresas deben destinar una mayor proporción de sus recursos económicos y humanos a la resolución de problemas relacionados a la operatoria diaria, desplazando otras actividades -como la inversión en nuevas tecnologías- que requieren grandes esfuerzos de planificación e implementación. Respecto al contexto sectorial, sin embargo, las empresas que abastecen al segmento pesquero han tenido un importante incremento en la demanda durante los últimos años, lo que actúa como un elemento facilitador de la transformación digital. Las firmas que producen embarcaciones para el transporte de mercaderías a través de la Hidrovía han enfrentado un declive de su actividad, e incluso algunas se han diversificado hacia la construcción de buques pesqueros como respuesta a esta coyuntura. En el contexto actual, las empresas mantienen cierta incertidumbre respecto al sostenimiento de la demanda en el mediano plazo, debido a posibles desregulaciones en materia de comercio exterior tendientes a favorecer la importación de embarcaciones usadas y a la caída de precio internacional del langostino. Por otra parte, existen buenas expectativas entre las empresas en relación al incremento en la demanda que podría generar la eventual extracción de petróleo offshore en la provincia.

Disponibilidad de tecnologías. Entre las empresas del sector, la falta de información sobre las características de las tecnologías y los beneficios de su aplicación opera como un obstáculo para la transformación digital. Incluso en los casos en los que las empresas navales reconocen la relevancia de una determinada tecnología y existen proveedores locales de ella, parte de las empresas no conocen los productos y servicios que estos ofrecen y dicha falta de información opera nuevamente como un obstáculo. Cabe destacar que la vinculación entre empresas -e.g. a través de cámaras empresariales- junto con algunas políticas de sensibilización contrarresta esta falta de información. Ocurren procesos de transferencia de conocimientos desde instituciones y organismos públicos hacia las empresas del sector y también entre las propias firmas mediante la difusión de experiencias exitosas.

Influencia de las empresas líderes de la cadena de valor. En la industria naval bonaerense, las exigencias de calidad de los astilleros -firmas líderes de la cadena- para con sus proveedores no se definen en términos de transformación digital. Este elemento se vincula con el hecho de que, a diferencia de otras actividades industriales -como el

sector automotriz (Civetta *et al.*, 2023)- la industria naval abastece casi por completo a empresas nacionales que operan en el mercado local. Es nula la participación de empresas multinacionales que respondan a requerimientos específicos fijados por sus casas matrices extranjeras y que funcionen como un incentivo para la implementación de tecnologías en sus proveedoras. Este elemento entonces actúa como un obstáculo del proceso. No obstante, una característica distintiva del sector naval es que el conocimiento fluye mayormente desde los navalpartistas, que se especializan en un campo específico del que tienen conocimiento experto, hacia los astilleros. Por lo que, si bien el rol de las empresas líderes no podría considerarse facilitador en la transformación digital, las relaciones de confianza establecidas entre navalpartistas y astilleros y la acumulación de conocimientos específicos por parte de los primeros, puede sí operar como un facilitador del proceso de adopción de nuevas tecnologías.

Rol del entorno institucional. Este factor se conforma de tres elementos: la vinculación entre las firmas y otros agentes de su entorno, el marco regulatorio, y las políticas de promoción del sector. En relación al primero, se observa que la mayor parte de las vinculaciones entre empresas e instituciones públicas -organismos de ciencia y tecnología, y organismos de la administración del Estado- no están orientadas hacia la transformación digital, operando este elemento como un obstáculo. En cuanto al aspecto normativo, existe aún mucho espacio para fortalecer la regulación en materia de seguridad y cuidado ambiental, lo que podría traccionar la transformación digital del sector. El marco regulatorio ha demostrado ser efectivo para inducir cambios en la conducta de los agentes económicos: por ejemplo, el decreto de renovación de flota pesquera (Decreto 145/19¹⁰), que exige el recambio de las embarcaciones que pescan en aguas argentinas, es una de las causas que explica el auge actual del segmento pesquero. Por lo tanto, si bien actualmente este elemento opera como un obstáculo podría ser un gran facilitador. Por último, el Estado puede cumplir un rol relevante como promotor de la transformación digital mediante políticas de promoción de la misma y a partir de la provisión de la infraestructura necesaria para que las firmas puedan avanzar en dicho proceso. Este elemento opera también como un obstáculo, dado que aun cuando se encuentran experiencias que facilitan la transformación digital, estas son mayormente acciones puntuales y aisladas. Un ejemplo de estas políticas de promoción es el Programa de Desarrollo de Proveedores (PRODEPRO)¹¹ y el de Unidades de Transformación Digital (UTD)¹², actualmente discontinuados. En cuanto a la provisión de la infraestructura necesaria, el Estado es el encargado del mantenimiento y dragado de las vías navegables -ríos y puertos-. La experiencia internacional ha mostrado que el Estado también posee un rol crucial en el desarrollo de la infraestructura que permite la

¹⁰ El cambio en el marco regulatorio fue consecuencia de dos hundimientos de barcos fresqueros con víctimas fatales en los años 2017 y 2018.

¹¹ A través de la Ley 27437, este programa impulsado por el ex Ministerio de Desarrollo Productivo pretende aumentar la agregación de valor y la integración nacional en los diversos sectores industriales a partir del desarrollo de proveedores -nuevos y existentes-. El programa identifica a la industria naval como uno de los diez sectores estratégicos, y ha financiado diversos proyectos de innovación en el sector -e.g. desarrollo de motores de propulsión eléctrica-.

¹² Se trata de 22 Unidades de Transformación Digital -impulsadas por universidades, empresas y cámaras empresariales- que tienen como objetivo sensibilizar y brindar asistencia técnica para la elaboración de planes de transformación digital para las PyMEs.

transición hacia sistemas de propulsión más limpios –como las estaciones de carga para GNL y/o hidrógeno-. Este tipo de innovaciones en producto, que contribuyen a mejorar la sustentabilidad ambiental, en muchos casos se encuentran impulsadas o complementadas por tecnologías 4.0 (Bai *et al.* 2020; Ghobakhloo, 2020). En el caso del Estado argentino, este elemento también actúa como un obstáculo de la transformación digital, porque si bien existieron planes como la Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno, no se avanzó en su implementación.

La Tabla 1 sintetiza los resultados del análisis de los factores críticos que inciden en la transformación digital de la industria naval bonaerense. Como de allí se desprende, mientras algunos factores afectan a todas las empresas del sector de igual manera, otros tienen un impacto diferente de acuerdo al perfil de empresa -grandes astilleros, pequeños astilleros, talleres navales y metalmecánicos, y otros navalpartistas proveedores de servicios o productos de mayor contenido tecnológico-.

Tabla 1: Rol de los factores críticos en el proceso de transformación digital según perfil de empresa.

Factor / Perfil de empresa		Grandes astilleros	Pequeños astilleros	Talleres navales y metalmecánicos	Otros navalpartistas
Internos a la firma	Características del proceso productivo	Obstáculo parcial	Obstáculo	Obstáculo parcial	Obstáculo parcial
	Planificación estratégica	Facilitador	Obstáculo	Obstáculo	Facilitador
	Cultura organizacional	Obstáculo	Obstáculo	Obstáculo	Obstáculo parcial
	Capacidades tecnológicas de base	Facilitador parcial	Obstáculo	Obstáculo	Facilitador parcial
	Disponibilidad de recursos económicos	Obstáculo parcial	Obstáculo	Obstáculo	Obstáculo
Externos a la firma	Contexto macroeconómico y sectorial	Facilitador parcial	Facilitador parcial	Facilitador parcial	Facilitador parcial
	Disponibilidad de tecnologías	Obstáculo parcial	Obstáculo	Obstáculo	Obstáculo parcial
	Influencia de las empresas líderes de la cadena de valor	-	-	Obstáculo	Obstáculo
	Rol del entorno institucional	Obstáculo parcial	Obstáculo parcial	Obstáculo parcial	Obstáculo parcial

Fuente: Elaboración propia.

Reflexiones finales

En este trabajo nos propusimos analizar el proceso de transformación digital de la industria naval pesada bonaerense. Para ello, aplicamos un enfoque metodológico esencialmente cualitativo, utilizando la entrevista en profundidad como fuente de recolección de información primaria. Los principales resultados indican un bajo grado promedio de avance en el proceso de transformación digital de las firmas, con algunas diferencias según tamaño de empresas, eslabón de la cadena de valor y segmento de mercado. Los diversos perfiles de empresas, a su vez, enfrentan diferentes obstáculos y facilitadores en este proceso.

El bajo grado de adopción de tecnologías impacta de manera negativa en la cadena de valor naval en al menos tres aspectos. Primero, existe un efecto económico directo, al restarle eficiencia y competitividad al sector en su conjunto, dificultando además el acceso a mercados internacionales. Segundo, el carácter manual de algunos procesos productivos tiene un impacto negativo en la salud de los trabajadores, que se exponen a sustancias tóxicas y a la realización de tareas repetitivas que pueden generarles lesiones físicas crónicas. Tercero, la ausencia de procesos productivos más modernos y limpios impacta de manera negativa en el ambiente, dado que muchas de las tecnologías 4.0 reducen la generación de desechos y tienen un menor consumo de energía.

La industria naval se encuentra, por lo tanto, ante el importante desafío de madurar el conocimiento de tecnologías 3.0 y automatizar ciertos procesos productivos básicos, lo que permitiría sentar las bases para transitar hacia el paradigma 4.0. El contexto de recuperación que se encuentra atravesando el sector en la actualidad -especialmente en el segmento pesquero-, junto con la existencia de expectativas positivas vinculadas a la explotación offshore, constituye una oportunidad para avanzar en el proceso de transformación digital en el mediano plazo y lograr acortar distancias con la frontera tecnológica internacional. Asimismo, se destacan ciertas innovaciones en productos que no solamente contribuyen a mejorar la eficiencia de los buques, la sustentabilidad ambiental y el uso racional del recurso pesquero, sino que también constituyen una oportunidad para impulsar la inserción internacional de las empresas de los diferentes eslabones de la cadena de valor naval. La exportación de embarcaciones pesadas puede no ser un camino a seguir en el corto plazo dado el escenario sectorial mundial y nacional en la actualidad, pero sí podría serlo exportar partes, piezas y servicios de alto contenido tecnológico.

Para que la industria naval bonaerense en su conjunto logre aprovechar estas oportunidades, se deberán orientar esfuerzos hacia la capacitación de recursos humanos, la adopción de sistemas de mejora continua y la obtención de certificaciones de calidad. Ello representa un desafío importante para una industria tradicional como es la naval. Los resultados de este informe pueden servir de base para definir lineamientos de política pública que le permitan al sector enfrentar estos desafíos. En este sentido, consideramos que sería beneficioso lograr una mejor articulación entre el sector científico-tecnológico y el entramado productivo, utilizar el marco regulatorio como una herramienta para la promoción de cambios profundos en las prácticas y conductas tradicionales del sector, y generar acciones de sensibilización que le permitan a las empresas conocer las tecnologías disponibles, sus beneficios y posibilidades de adopción.

Referencias bibliográficas

- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garnero, P. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el Futuro*. Unión Industrial Argentina. BID-INTAL.
- Civetta, A., Mauro, L., & Manzo, F. (2023). Transitando el camino de la transformación digital: lecciones de la industria automotriz argentina. *Revista de Economía Política de Buenos Aires*, (27), 105-142. [https://doi.org/10.56503/repba.Nro.27\(17\)pp105-142](https://doi.org/10.56503/repba.Nro.27(17)pp105-142)
- Fundación Soermar (2020). *Plan Estratégico de I+D+i de los medianos y pequeños astilleros. Versión 2030*. Fundación y Centro Tecnológico Soermar.
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
- Hernández Alvarado, A. (2021). Estudio de la industria 4.0 en el sector de la construcción naval. (Tesis de Maestría), Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia.
- Iwankowicz, R. & Rutkowski, R. (2023). Digital Twin of Shipbuilding Process in Shipyard 4.0. *Sustainability*, 15(12), 9733, 1-27. <https://doi.org/10.3390/su15129733>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0., application-pull and technology-push as driving forces of the fourth industrial revolution. *Business & information systems engineering*, 6(4), 239-242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Liere-Netheler, K., Packmohr, S., & Vogelsang, K. (2018). Drivers of Digital Transformation in Manufacturing. Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii, EEUU.
- Mauro, L. M., Manzo, F., Stubrin, L., Levy Yeyati, L., & Arza, V. (2022). La industria naval en Argentina: situación actual y lineamientos de política para su desarrollo. *Documentos de Trabajo del CCE*, (21). Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.
- Munín-Doce, A., Míguez González, M., Díaz Casás, V., & Ferreno-González, S. (2021). *Construcción naval e industria 4.0*. Módulo 3, Construcción naval 4.0. Universidade Da Coruña, España.
- Omrani, N., Rejeb, N., Maalaoui, A., Dabić, M., & Kraus, S. (2022). Drivers of digital transformation in SMEs. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 5030-5043. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3215727>

- Osmundsen, K., Iden, J., & Bygstad, B. (2018). Digital transformation: Drivers, success factors, and implications. *Mediterranean Conference on Information Systems 2018, Proceedings*. 37.
- Pereira, A. C. & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), España*.
- Ramirez-Peña, M., Abad Fraga, F. J., Salguero, J., & Batista, M. (2020). Assessing sustainability in the shipbuilding supply chain 4.0: A systematic review. *Sustainability*, 12(16), 6373. <https://doi.org/10.3390/su12166373>
- Recamán, Á. (2018). Industria 4.0. Una perspectiva desde la construcción naval militar. *Revista general de marina*, 275, 215-238.
- Sánchez-Sotano, A., Cerezo-Narváez, A., Abad-Fraga, F., Pastor-Fernández, A., & Salguero Gómez, J. (2020). Trends of digital transformation in the shipbuilding sector. En: *Romeral Martínez, L., Osornio Rios, R., & Delgado Prieto, M. (eds.) New Trends in the Use of Artificial Intelligence for the Industry 4.0*. Intech Open. London, UK.
- Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. DEBATE. World Economic Forum.
- Stanić, V., Hadjina, M., Fafandjel, N., & Matulja, T. (2018). Toward shipbuilding 4.0-an industry 4.0 changing the face of the shipbuilding industry. *Brodogradnja: An International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering for Research and Development*, 69(3), 111-128. <http://dx.doi.org/10.21278/brod69307>
- The Maritime Executive (8 de octubre de 2023). HD Hyundai to Expand Digital Automation to Improve Shipyard Productivity. Recuperado de: maritimeexecutive.com/article/hd-hyundai-to-expand-digital-automation-to-improve-shipyardproductivity
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods (Vol. 5)*. 4ta ed. Sage, Estados Unidos.