

## **(08-002) - Influence of Industry 4.0 on Occupational Risks in a Shipyard. Welding as a Case Study**

Ramirez-Peña, Magdalena <sup>1</sup>; Cerezo-Narváez, Alberto <sup>1</sup>; Otero-Mateo, Manuel <sup>1</sup>;  
Batista, Moisés <sup>1</sup>; Pastor-Fernández, Andrés <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Cádiz

All organizations, regardless of their size and the sector to which they belong, must adapt to the era of digital transformation. The shipbuilding sector has also experienced this influence, but until now, the focus has been on digital technologies without analyzing how they affect the worker, assuming a positive assessment without objective evidence.

This paper seeks to analyze the relevant technologies for shipbuilding, focusing on key areas such as welding. The main objective is to study the evolution of occupational risks in this activity due to digitalization. In addition, it seeks to demonstrate whether the application of enabling technologies reduces hazards in ship welding.

The project focuses on identifying suitable digital technologies, analyzing improvements for welding, performing a risk analysis prior to the implementation of technological improvements, applying the Fine Method to assess risks and comparing two scenarios: a conventional shipyard versus a 4.0 shipyard with all the technological advances.

As a result of the work, there will be an assessment of how the degree of danger of each of the risks identified for this activity has changed in the new 4.0 scenario.

Keywords: Digital Transformation; Welding; Occupational Risks; Fine Method; Industry 4.0

### **Influencia de la Industria 4.0 en los Riesgos Laborales de un Astillero. La Soldadura como Caso de Estudio**

Todas las organizaciones independientemente de su tamaño y del sector al que pertenezcan, deben adaptarse a la era de la transformación digital. El sector de construcción naval también ha experimentado esta influencia, pero hasta ahora, la atención se centraba en las tecnologías digitales sin analizar cómo afectan al trabajador, asumiendo una valoración positiva sin evidencias objetivas.

Este trabajo busca analizar las tecnologías relevantes para la construcción naval, centrándose en áreas clave como la soldadura. El objetivo principal es estudiar la evolución de los riesgos laborales en esta actividad debido a la digitalización. Además, se busca demostrar si la aplicación de tecnologías habilitadoras reduce la peligrosidad en la soldadura naval.

El proyecto se enfoca en identificar tecnologías digitales adecuadas, analizar mejoras para la soldadura, realizar un análisis de riesgos previo a la implantación de mejoras tecnológicas, aplicar el Método Fine para evaluar riesgos y comparar dos escenarios: un astillero convencional versus un astillero 4.0 con todos los avances tecnológicos.

Como resultado del trabajo, se tendrá una valoración de cómo ha cambiado el grado de peligrosidad de cada uno de los riesgos identificados para dicha actividad en el nuevo escenario 4.0.



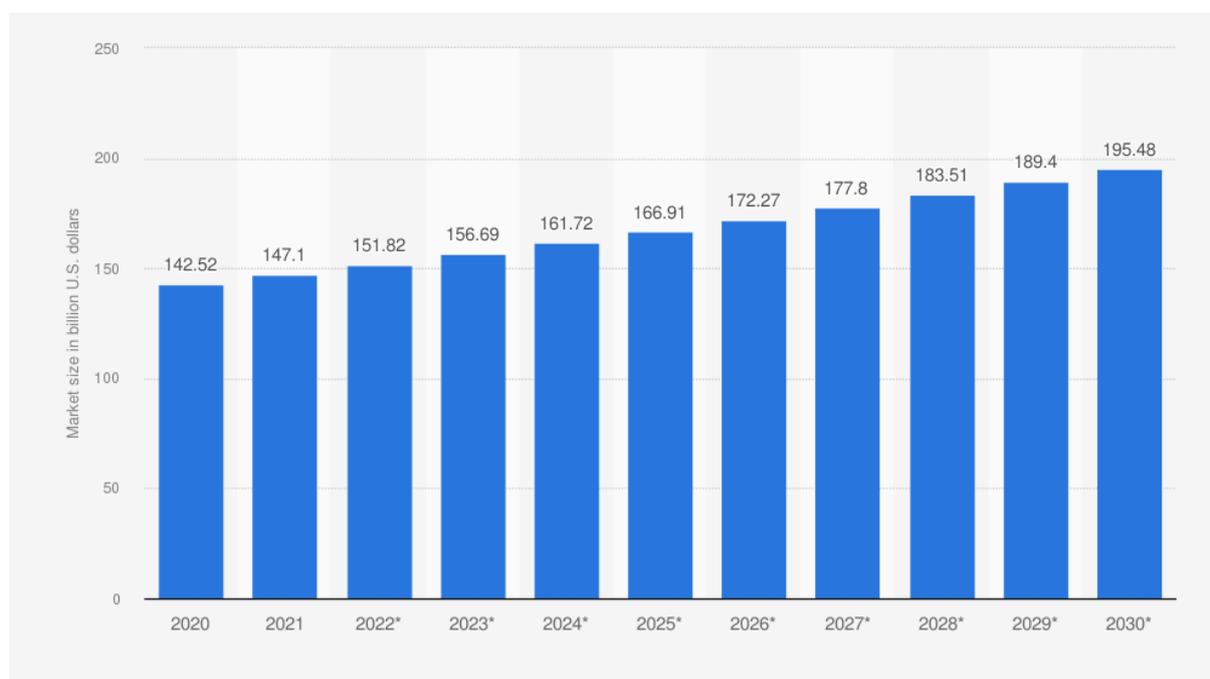
Palabras clave: Transformación Digital; Soldadura; Riesgos Laborales; Método Fine;  
Industria 4.0

Correspondencia: Andrés Pastor Fernández, [andrés.pastor@uca.es](mailto:andrés.pastor@uca.es)

## 1. Introducción

España, debido a sus kilómetros de costa y la estrecha relación que desde siglos ha tenido con el mar, cuenta con una gran tradición y experiencia en el sector de la construcción naval. Dicho sector tradicional por la producción de grandes buques, tanto civiles como militares, ha sido sometido a distintas dificultades a lo largo de su historia. Además, se trata de un sector que compite a nivel internacional y esta competencia le ha llevado a situar a España al segundo país de la Unión Europea y entre los diez primeros a nivel mundial. Para ello, el sector vive en constante adaptación en todos los sentidos para mantenerse en el mercado competitivo y en crecimiento según las cifras que marca el mercado global como muestra la figura 1.

**Figura 1: Tamaño del mercado mundial de la construcción naval de los años 2020 y 2021 con previsión hasta 2030 en miles de millones de U.S. dólares (Petershagen, 1990).**



Esta adaptación necesaria para subsistir proviene de años atrás cuando comienza la cuarta revolución industrial. Dicha revolución se apoya en la implantación de nuevas tecnologías. Esto permite llevar a cabo la digitalización de los procesos además de los productos y servicios para lo que ha sido necesario cambiar el modelo de negocio. Dicho modelo ha sido redimensionado el modelo de rendimiento económico con la inclusión del aspecto social como novedad (Horváth & Szabó, 2019).

La introducción de este nuevo aspecto ha precisado de estudios posteriores más centrados en el comportamiento máquina-hombre, debido al importante protagonismo que tomaron las distintas tecnologías en sí, dando paso a la llamada quinta revolución o Industria 5.0. En definitiva, vivimos en la era de la transformación digital de tal manera que esta evolución de las industrias, la tendencia a las fábricas inteligentes y el cambio producido en la manera de diseñar, fabricar y de comercializar tanto los productos como los servicios, nos lleva a situarnos en la Industria X.0. Industria capaz de utilizar las tecnologías digitales inteligentes provenientes de la Industria 4.0, con capacidad de aprendizaje desde el momento en el que se valoran las necesidades del cliente, hasta que éste lo usa.

Es en este marco y en esta era digital, donde el presente trabajo pretende investigar cómo le ha afectado todo este cambio al trabajador del sector naval y a su seguridad eligiendo la actividad de la soldadura por ser la más representativa del sector. Para ello, el presente trabajo está compuesto de los objetivos de la investigación seguidos de la metodología utilizada que se abordará mediante la aplicación del método probabilístico desarrollado por William Fine, diseñado por el Naval Ordnance Laboratory norteamericano y publicado en 1971 cuyos resultados tienen principalmente propósitos comparativos (T.Fine, 1971). Para llevar a cabo la comparación, se establecerán dos escenarios totalmente ficticios, de una parte, un astillero convencional agrupando la total aplicación de riesgos posibles existentes, frente a un escenario denominado astillero 4.0 en el que serán aplicados todos los avances tecnológicos identificados en el estado del arte.

Una vez realizada la metodología, se detallarán los resultados obtenidos y discusión de éstos realizando una valoración de cómo ha cambiado el grado de peligrosidad para dicha actividad, finalizando con las conclusiones derivadas del estudio y acompañadas de la bibliografía utilizada.

## 2. Objetivos

El presente trabajo pretende analizar las distintas tecnologías que puedan resultar de interés al mundo de la construcción naval, centrandó el estudio en las que afectan a la actividad elegida: la soldadura. De esta forma, el objetivo principal de este trabajo se centra en el estudio de la evolución de los riesgos laborales de los trabajadores implicados en la soldadura, a través de la adaptación de la industria a la digitalización.

Para alcanzar el objetivo principal, los siguientes objetivos específicos se hacen necesarios:

- Identificar las tecnologías digitales apropiadas a la construcción naval.
- Analizar las distintas opciones de mejora establecidas para la soldadura.
- Establecer un análisis de riesgos para la actividad de soldadura, previo a la implantación de mejoras proporcionadas por la implantación de tecnologías.
- Establecer un análisis mediante la aplicación del Método Fine para la actividad objeto de estudio.
- Comparar los resultados obtenidos y establecer las conclusiones oportunas.

## 3. Metodología

La metodología utilizada se basa en la aplicación del método de William Fine, método semicuantitativo por abarcar caracteres cuantitativo-mixto (T.Fine, 1971). El éxito de este método reside en su carácter generalista que permite analizar todos los riesgos existentes bajo una misma metodología y obtener, según las magnitudes, una relación general priorizada lo que lo hace idóneo para la presente investigación. Además de permitir ordenar los riesgos según su magnitud, permite economizar las medidas de seguridad normalmente incluidas en proyectos de ingeniería quedando justificado por niveles de riesgos reales a mitigar.

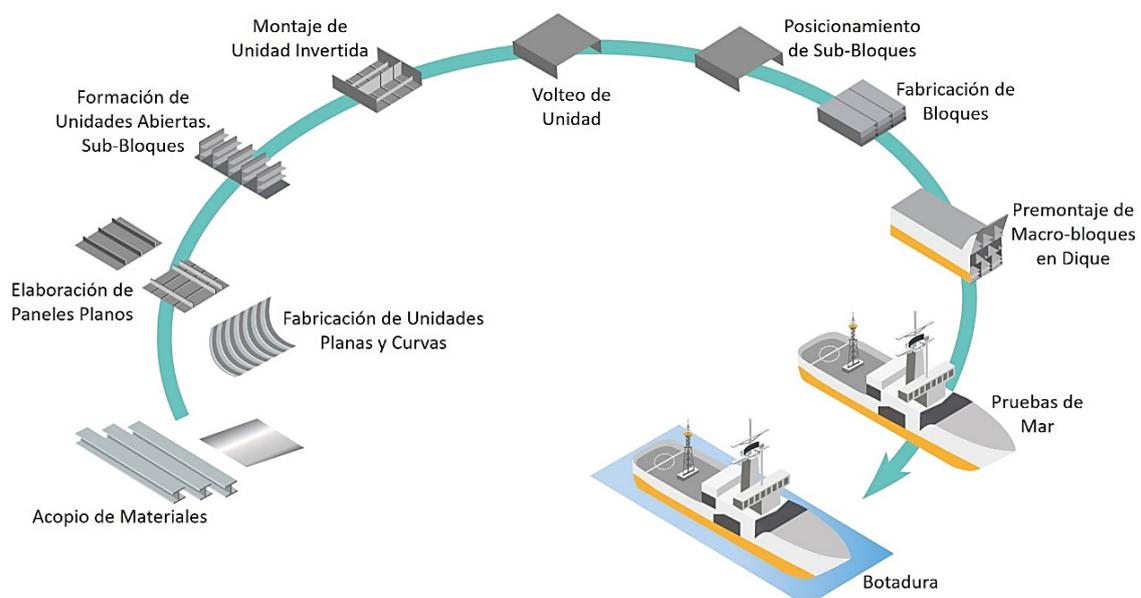
Para la aplicación del método, se seguirá la mostrada la figura 2, en dos escenarios distintos para terminar realizando la comparativa entre ambos.

**Figura 2: Esquema de la metodología utilizada**



Estos dos escenarios, han sido denominados Astillero Convencional y Astillero 4.0 y las actividades de la misma manera se han denominado Soldadura y Soldadura 4.0. Para conocer las actividades que se pretenden analizar, se dan a conocer las etapas que constituyen el flujo productivo de la construcción de un buque. Dicho flujo pasa por dos líneas de fabricación principales, taller de bloques planos y taller de bloques curvos, donde tal y como sus nombres indican, se fabrican a partir de la entrada de material, pasando por una serie de etapas hasta conformar bloques, planos y curvos respectivamente que posteriormente se ensamblaran en el dique donde se completa la estructura del buque. La figura 3 muestra las principales etapas de la construcción de un buque.

**Figura 3: Principales etapas de la construcción de un buque (Churiaque Bermejo, 2022)**



Por tanto, cada una de las dos actividades a analizar se ha dividido en dos grupos así, Talleres, correspondientes a la fabricación de Bloques Planos y Curvos y Dique considerando que con estos grupos se abarca toda la soldadura dentro de la construcción naval entendiéndose como obra nueva, quedando fuera del alcance del estudio las reparaciones en las que también se incluirían las actividades de soldadura subacuática.

Una vez definidas las actividades a analizar, se procede a examinar los factores de riesgo asociados a los procesos de soldadura que podrían ser agrupados según estén relacionados con las energías utilizadas, relacionados con el proceso en sí, con operaciones complementarias como puede ser cepillado, amolado, etc., y relacionado con las condiciones en las que se desarrolla el trabajo, lugares elevados o recintos cerrados y espacios confinados. De este modo y según indica el INSST, la tabla 1 recoge los riesgos y factores de riesgo asociados en relación por una parte a los riesgos de accidentes, a enfermedad profesional, fatiga e insatisfacción.

**Tabla 1: Identificación de riesgos asociados a soldadura**

CÓD	Accidentes	Factores de Riesgo
010	Caída de personas a distinto nivel	Montaje de piezas en altura (estructuras metálicas, reparaciones, etc.); Manchas en suelos (grasas, etc.); Trabajos sobre escaleras manuales
020	Caída de personas al mismo nivel	Obstáculos en zonas de paso (piezas, cables, etc.); Manchas en suelos (grasas, etc.); Suelo Irregular
040	Caída de objetos en manipulación	Caída de piezas; Caída de botellas de gas durante su transporte o utilización; Manipulación de varios materiales y herramientas
060	Pisadas sobre objetos	Herramientas, Elementos punzantes, cortantes y equipos en el suelo, Iluminación insuficiente; Falta de orden
070	Choques contra objetos inmóviles	Zonas de circulación no señalizada; Falta de orden; Iluminación insuficiente; Choques con el material almacenado (barras, perfiles, etc.)
080	Choques contra objetos móviles	Transporte de materiales; Las zonas de trabajo no están delimitadas
090	Golpes/cortes por objetos o herramientas	Rebabas de las piezas; Objetos en vías de circulación; Accidentes con elementos cortantes de máquinas o herramientas (cuchillas, brocas, etc.) o materiales con bordes cortantes o partes punzantes (perfiles, chapas, etc.); Ausencia de elementos de seguridad en las máquinas (protecciones de partes móviles, contra la proyección de partículas, etc.)
100	Proyección de fragmentos o partículas	Proyección de partículas durante diversos procesos (soldeo, esmerilado, desbarbado, martilleado, afilado, etc.); Ausencia de elementos de seguridad en las máquinas (protecciones de partes móviles, contra la proyección de partículas, etc.); Falta de EPIs adecuados de los trabajadores; Limpieza con aire comprimido
110	Atrapamientos por o entre objetos	Utilización de cadenas, pulseras, anillos, ropa holgada, pelo suelto etc; Equipos transportados por las vías de circulación; Atrapamiento por la manipulación de piezas
120	Atrapamiento por vuelco de máquinas o vehículos	Trabajadores utilizan las vías de circulación; Máquinas y vehículos cercanos al sitio de trabajo
130	Sobreesfuerzos	Levantamiento y transporte inadecuado de máquinas

140	Expo. Tª ambientales extremas	Trabajo realizados en dique
150	Contactos térmicos	Contacto con elementos de soldadura o la pieza soldada
161	Contactos eléctricos directos	Contacto con elementos de soldadura o la pieza soldada
162	Contactos eléctricos indirectos	Arco eléctrico; Cables expuestos
170	Expo. sustancias nocivas/tóxicas	Exposición a gases y contaminantes proveniente de la soldadura
180	Contac. sust. cáusticas/corrosivas	Utilización de ácidos durante la limpieza de preparación
190	Exposición a radiaciones	Radiación proveniente de las soldaduras Uso de electrodos de tungsteno (durante afilado se originan humos o polvos radiactivos)
200	Explosiones	Bombonas de gases explosivos cerca
211	Incendios. Factores de inicio	Trabajar con focos de ignición y de materiales combustibles (Llama, chispas, escorias, etc. y aceites, grasas, disolventes, etc.); Fugas de gases: acetileno, oxígeno, metano, propano, butano, hidrógeno, etc.; Retornos de llama; Trabajos con recipientes que hayan contenido líquidos inflamables; Trabajos en espacios confinados o con riesgo de explosión; Atmósferas sobreoxigenadas; Utilización de aparatos a presión (compresores, etc.)
212	Incendios. Propagación	Trabajar con materiales capaces de propagar el incendio
213	Incendios. Medios de lucha	Falta de equipos de lucha contra incendios
214	Incendios. Evacuación	Falta de señalización; Desconocimiento de plan de respuesta ante emergencias
230	Atropellos o golpes con vehículos	Trabajadores utilizan las vías de circulación
Enfermedad profesional		
310	Exposición a contaminantes químicos	Niveles de contaminantes químicos altos; Generación de humos metálicos (cadmio, cromo, manganeso, zinc, mercurio, níquel, titanio, vanadio, plomo, molibdeno, aluminio, hierro, estaño, asbestos, sílice, cobre, berilio) procedentes tanto de las piezas a soldar y sus recubrimientos como de los electrodos; Generación de gases (ozono, fosgeno, CO, óxido nitroso, etc.), algunos muy peligrosos; Generación de polvo con contenido en elementos nocivos para la salud, principalmente en el afilado de los electrodos; Trabajos en espacios confinados; Utilización de electrodos de tungsteno toriado; Utilización de productos químicos, principalmente para la preparación de las superficies a soldar
320	Exp. a contaminantes biológicos	No se contemplan
330	Ruido	Exposición a elevados niveles de ruido; Ruido generado por los equipos de extracción, compresores, máquinas auxiliares, etc
340	Vibraciones	Maquinaria que produce vibraciones (ejemplo: radial)
350	Estrés térmico	Condiciones ambientales adversas
360	Radiaciones ionizantes	Exposición a radiaciones ionizantes
370	Radiaciones no ionizantes	Exposición continua a radiaciones no ionizantes
380	Iluminación	Iluminación insuficiente

Fatiga		
410	Física. Posición	Posiciones inadecuadas en el trabajo; Mantenimiento de posturas estáticas durante la tarea; Posturas forzadas
420	Física. Desplazamiento	Distancias importantes a realizar en las instalaciones
430	Física. Esfuerzo	Jornadas de trabajo a destajo para cumplir con planes previstos de producción
440	Física. Manejo de cargas	Manipulación manual de materiales y productos
450	Mental. Recep.de la información	Falta de formación para la recepción o información realizada en idioma no dominado por el trabajador
460	Mental. Tto. de la información	Toma de decisiones para llevar a cabo el trabajo
470	Mental. Respuesta	Falta de capacidad o dominio en el idioma utilizado
480	Fatiga crónica	Falta de recuperación por jornadas excesivas o descanso insuficiente entre las mismas
Insatisfacción		
510	Contenido	Insatisfacción en el reparto de tareas o salario
520	Monotonía	Repetición de secuencias muy cortas y repetitivas
530	Roles	Insatisfacción por demandas incongruentes o incompatibles
540	Autonomía	Falta de delegación por parte de superiores o conflicto entre distintos superiores cuando se trata de trabajadores subcontratados
550	Comunicaciones	Fallos de información de tareas o imposibilidad de contactar con superiores
560	Relaciones	Distintas personalidades conviviendo, fuerte jerarquía, diferencias entre personal perteneciente a la empresa principal y a subcontratas
570	Tiempo de trabajo	Insuficiencia o inadecuación del trabajo a la jornada; Temporalización del trabajo

Para completar la identificación de riesgos, se procede a conocer la relación entre trabajadores identificando distintas operaciones en el astilleros destinadas a la construcción del buque resumidas en la tabla 2.

**Tabla 2: Descripción de operaciones realizadas en la construcción de un buque**

N.º	Operaciones	Descripción
1	Recepción de material	<i>Descarga de material a la zona destinada, acopio en la entrada de la máquina de corte</i>
2	Trabajos en aceros	<i>Trabajos generales de preparación de planchas para formar los bloques entre las que se encuentran corte, conformado, mecanizado, soldeo, etc.</i>
3	Trabajos mecánicos	<i>Montaje y preparación de motores y distinto equipo mecánico del buque.</i>
4	Trabajos en interior de tanques	<i>Trabajos de soldadura e inspección</i>
5	Trabajos de electricidad	<i>Instalación y reparaciones relacionada con la electricidad del buque</i>

6	Trabajos de limpieza general	<i>Trabajos de limpieza</i>
7	Instalaciones provisionales	<i>Elementos de trabajo e instalaciones de electricidad en buques que tienen carácter temporal</i>
8	Operaciones de pintado	<i>Tratamiento y pintado de bloques, cubiertas y tanques</i>
9	Ensayos no destructivos	<i>Pruebas realizadas sin alterar las propiedades de los materiales relacionadas con inspecciones</i>
10	Trabajos de habilitación	<i>Montaje de aislamiento, carpintería metálica, etc.</i>
11	Movimientos de bloques	<i>Desplazamientos de los bloques mediante grúas y otros elementos de elevación tanto dentro de los talleres como hasta el dique</i>
12	Control dimensional	<i>Verificación, validación y calibración de estructuras y equipamientos</i>
13	Pruebas	<i>Eléctricas, mecánicas y electrónicas</i>
14	Bomberos	<i>Asistencia contra incendios</i>
15	Actividades subacuáticas	<i>Realización de trabajos subacuáticos</i>

Una vez detalladas dichas operaciones, se procede a identificar la relación que existe entre ellas y la soldadura. La tabla 3 muestra la relación de las distintas operaciones previstas en las tres áreas identificadas en el estudio: Taller de Bloques Plano (BP), Taller de Bloques Curvos (BC) y Dique (D), con las operaciones de soldadura.

**Tabla 3: Relación de operaciones y áreas con la soldadura**

Nº	Operaciones	Áreas			Soldador
		BP	BC	D	
1	Recepción de material	X	X		
2	Trabajos en aceros	X	X		X
3	Trabajos mecánicos				
4	Trabajos en interior de tanques			X	X
5	Trabajos de electricidad	X	X	X	
6	Trabajos de limpieza general	X	X	X	
7	Instalaciones provisionales	X	X	X	
8	Operaciones de pintado			X	
9	Ensayos no destructivos	X	X	X	
10	Trabajos de habilitación			X	X
11	Movimientos de bloques	X	X	X	
12	Control dimensional	X	X	X	
13	Pruebas	X	X	X	
14	Bomberos	X	X	X	
15	Actividades subacuáticas			X	X

De la tabla 3 se puede extraer la relación de las operaciones relacionadas con soldadura. Un total de seis operaciones en las tres áreas analizadas de las que sólo se analizarán cuatro de ellas. Esto se debe a que las actividades subacuáticas se consideran relacionadas con reparaciones y no a nueva construcción. Dicho análisis quedará recogido a continuación en el apartado de resultados.

#### **4. Resultados y Discusión**

Para realizar el análisis de riesgos y tal y como se ha indicado en la metodología, se ha procedido a identificar los riesgos asociados a la actividad de soldadura en dos escenarios distintos para poder llevar a cabo la comparativa posterior. Una primera evaluación se encargará de llevar a cabo el análisis de riesgos en lo que se ha denominado astillero convencional, entendiéndose aquél, por el astillero que utiliza la aplicación de las tecnologías existentes hasta la cuarta revolución industrial y un segundo escenario denominado astillero 4.0 donde el escenario conlleva el análisis de riesgos con aplicación de todas la tecnologías habilitadoras posibles relacionadas con la soldadura.

Posteriormente, se realiza una primera distinción entre los riesgos que se pueden identificar en cada una las tres zonas clave del astillero donde se realizan dichas actividades, entendiéndose así al taller de bloques planos, el taller de bloques curvos y dique donde se lleva a cabo el ensamblaje final.

En último lugar y en relación con los riesgos, se clasificarán en tres grupos, de una parte, los riesgos relacionados con seguridad, por otra parte, los riesgos higiénicos y por otra los riesgos ergonómicos y psicosociales. Así de este modo y comenzando por los talleres de bloques planos y curvos, cuyos riesgos en el astillero convencional coinciden, se calcula el grado de peligrosidad GP en relación con la operación 2 definida con trabajos en acero. El valor de GP obtenido para cada grupo de riesgos analizados en los talleres de soldadura superan el valor de 200 por lo que son considerados como críticos y la actitud debería ser detener la actividad y proceder a reducir el riesgo existente. El siguiente paso supondría proponer las medidas preventivas que reduzcan los riesgos detectados.

Posteriormente, se proceden a identificar los riesgos en dique, lugar donde se ensamblan todos los bloques fabricados previamente en los talleres, así como diferentes estructuras que hayan sido fabricadas fuera del propio astillero como el puente de mando, así como todo el armamento que no ha podido ser adelantado en dichos talleres, entre otros. Entre dichos trabajos, la soldadura está presente en dos operaciones de las identificadas anteriormente, así se encuentra en operación 4 trabajos en interior de tanques y operación 10 trabajos de habilitación. Por tanto, el grado de peligrosidad para el riesgo de accidentes en dique, será la suma de los resultados obtenidos en ambas operaciones, que al igual que los obtenidos para los riesgos de enfermedad profesional y ergonomía y psicología superan el valor de 200 por lo que son considerados como críticos y la actitud debería ser detener la actividad y proceder a reducir el riesgo existente.

Llegando a este punto y una vez declaradas las medidas preventivas aplicables a cada uno de los riesgos detectados, el método propuesto por William Fine propone volver a valorar los riesgos para conocer si las ponderaciones se han reducido hasta los valores admisibles y en caso positivo, en función del coste asociado a dichas medidas preventivas, llegar a conocer si dichas medidas están justificadas como se explicó anteriormente.

Sin embargo, el estudio llevado a cabo en este trabajo propone realizar una nueva valoración teniendo en un nuevo escenario donde se hayan implantado todos los avances aportados por las tecnologías digitales existentes hasta el momento que puedan ser de aplicación.

Esto nos lleva a situarnos en un nuevo escenario, en sentido figurado, que nos permitirá conocer el grado de peligrosidad actualizado que la actividad de la soldadura tuviese en el

hipotético caso de que se implantaran todas las aportaciones científicas localizadas, esto es lo que se ha denominado soldadura 4.0 en el escenario astillero 4.0 al que la tendencia está dirigida.

Como se ha podido comprobar, la tecnología robots autónomos y colaborativos ha sido la que mayor impacto ha tenido en el ámbito de la soldadura (Rooks, 1997). El uso de robots para realizar operaciones de soldadura, ha quedado demostrado en distintos campos como por ejemplo montados sobre raíles para la fabricación del doble casco (Kim et al., 2008), para su uso directo sobre estructuras soldadas (Bragagna, 2010), eliminando de este modo el riesgo de sobreesfuerzos al evitar mantener por parte del soldador posturas durante la ejecución de las operaciones, quedando sustituido por varios robots. La labor del operario por tanto se reduce a una labor de vigilancia y no solo de un robots sino de varios a la vez que operan conjuntamente.

Este cambio, además, reduce de manera considerable la exposición a sustancias nocivas y tóxicas, así como el contacto con sustancias cáusticas y/o corrosivas al limitar dicha exposición al momento en concreto de la puesta en marcha de los robots. Del mismo modo, la proyección de fragmentos o partículas queda prácticamente eliminada por las mismas razones junto con la exposición a radiaciones, evidenciando una considerable reducción de tiempos que inciden no solo en la reducción en el coste, sino que permite que también se reduzcan los riesgos ergonómicos y psicosociales localizados como la fatiga física y mental del trabajador a la vez que aumenta su nivel de satisfacción.

Por otra parte, allí donde los robots no llegan, los vehículos autónomos lo consiguen (Ahlers, 2004). Estos lugares entre los que cabe destacar lugares altos, estrechos y espacios confinados, permiten que los riesgos de caídas de personas a distinto nivel, así como la exposición y riesgos que conllevan los espacios confinados, se vean reducidos a favor para el trabajador.

Internet de las cosas aporta junto la inteligencia artificial, big data y cloud computing la monitorización de los parámetros de soldadura, temperatura, sonido del arco, baño de fusión (Liu et al., 2022; Qiang et al., 2023; Zhou et al., 2022) lo que permite reducir el tiempo de exposición que empleaba el trabajador y reduciendo además los trabajos de repetición al reducir la tasa de fallos, así como los de reproceso. No son solos esos los aportes de estas tecnologías, el hecho de dotar de sensores los equipos con los que se trabaja, permite reducir los riesgos de atropello o golpes con vehículos, de golpes/cortes por objetos o herramientas y choques contra objetos móviles.

Con respecto a la inteligencia artificial, la utilización de redes neuronales o de algoritmos heurísticos y los gráficos de punto aportan soluciones a la planificación de trayectorias que deben seguir los robots destinados a la soldadura (Lou et al., 2023) reduciendo de este modo la carga de trabajo del operario y junto a la realidad aumentada, colaboran en la formación del soldador y en la supervisión de soldadura láser y celdas de soldaduras robotizadas, reduciendo los niveles psicosociales a los que los trabajadores se encuentran sometidos. Del mismo modo, se extiende su uso a la configuración del gemelo digital (Dheeraj et al., 2023; Yin et al., 2023). De manera paralela a distintas tecnologías como la de robots autónomos o incluso en labores de gestión, la simulación aporta numerosos estudios que van dirigidos a facilitar labores y a reducir riesgos. Así por ejemplo, se localizan estudios que facilitan el ensamblaje de bloques desde la perspectiva de las deformaciones de la soldadura (Lee et al., 2016, 2019; Song et al., 2018) lo que permite reducir los trabajos y retrabajos realizados de soldadura en el ensamblaje llevado a cabo en dique. Además, el estudio de diferentes parámetros como el estrés residual o las distorsiones (Ischenko & Ibrahim, 1998; Podder et al., 2019; Polezhayeva et al., 2010) aportando mejoras de cara al trabajador ya mencionadas.

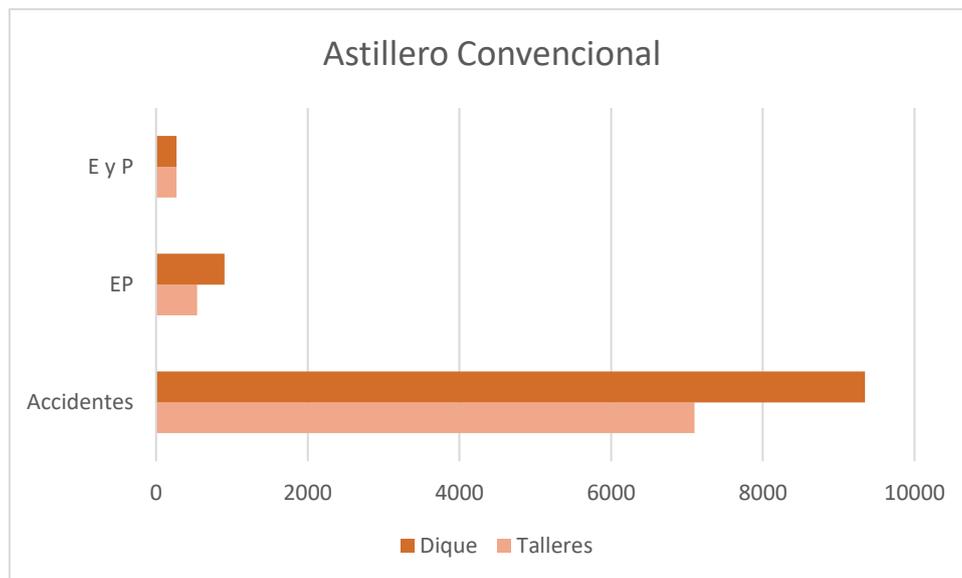
Por último, cabe mencionar los aportes de la fabricación aditiva en metales junto con mecanizado posterior, WAAM que parece ser tendencia, con posibilidad de utilizar distintos

tipos de soldadura y que a pesar de que su limitación radica en el espacio de trabajo de las máquinas, cada día se va ampliando a mayores capacidades (Xia et al., 2020). En este sentido, puede decirse que al trabajador le afecta positivamente en prácticamente todos los riesgos anteriormente mencionados, a los que habría que añadir, la reducción de los niveles de ruido y hacerlo extensivo no solo a las operaciones de soldadura sino también a otros procesos de mecanizado.

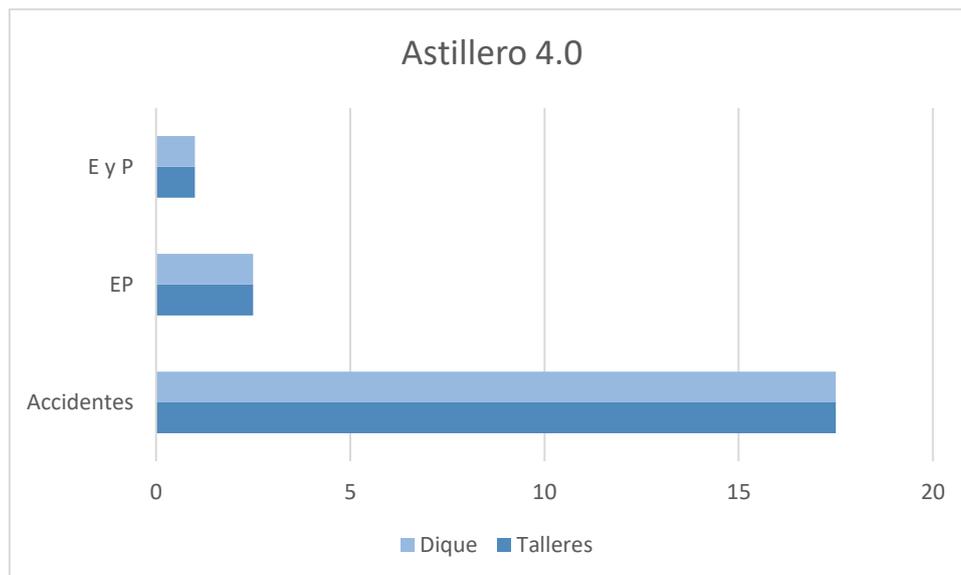
Una vez valorados las distintas aportaciones de las tecnologías digitales a la soldadura, se procede a realizar los cálculos de peligrosidad para cada una de las operaciones en las que interviene la soldadura tanto en taller como en dique y todos los grados de peligrosidad obtenidos calculados en el nuevo escenario de astillero 4.0, han obtenido una puntuación que lo sitúa como riesgo bajo indicándose por tanto en esta clasificación, que no se requieren actuación alguna frente a los riesgos detectados.

Una vez realizado todos los cálculos de los grados de peligrosidad con respecto a los escenarios analizados y en función de cada una de las partes valoradas: accidentes, enfermedad profesional y ergonomía y psicología, se ponen de manifiesto en las figuras 4 y 5. En ellas pueden apreciarse varias cosas. De una parte, la disminución en el grado de peligrosidad en el escenario 4.0 con respecto al convencional. Dentro del convencional se observa que el grado de peligrosidad en dique, en el análisis de accidentes y de enfermedad profesional, es superior en dique que en talleres. Por último, los riesgos relacionados con ergonomía y psicología han quedado prácticamente equiparados.

**Figura 4: Resumen de los grados de peligrosidad calculados en astillero convencional**



**Figura 5: Resumen de los grados de peligrosidad calculados en astillero 4.0**



Cabe destacar como la disminución de riesgos obtenida en el astillero 4.0 se ha debido a diferentes factores. Por una parte, se han localizado entre los riesgos de accidentes estudiados para ambos escenarios, como algunos de ellos ya ni siquiera han llegado a considerarse en Astillero 4.0, directamente han dejado de existir. Otra de las razones evidenciadas, ha sido el nivel de exposición del trabajador que se ha visto reducido en el resto de los riesgos valorados. Por otra parte, las consecuencias también se han visto reducidas debido al uso de las tecnologías digitales dando como resultado la considerable reducción de dichos valores.

## 5. Conclusiones

De los resultados obtenidos pueden sacarse distintas conclusiones entre las que caben destacar en primer lugar, el alto grado de peligrosidad de la soldadura en el sector de la construcción naval. Todo el conjunto completo de actividades pertenecientes a este sector está considerado como actividades de alto riesgo y recogidos en el Anexo I del Real Decreto 39/1997 del 17 de enero por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, es por ello por lo que fuera de esperar que la actividad evaluada de igual modo presentase tan alto grado de peligrosidad.

También es cierto que los avances de las tecnologías vienen a facilitar en gran medida la manera en la que se realizan los procesos, bien sea por la sustitución de unos procesos por otros directamente, bien por la gestión para llevarlos a cabo o bien por ayudas que permiten a los procesos habituales a realizar las operaciones en menor tiempo, con menos riesgos o con menor carga de trabajo. Este hecho se ha visto reflejado en los resultados obtenidos en el análisis de riesgos llevado a cabo en el escenario astillero 4.0.

Se ha de comentar que dicho escenario, astillero 4.0, es totalmente ficticio y en sentido figurado, debido a que se han aplicado todas las mejoras posibles detectadas en las publicaciones científicas con respecto a la implantación de las tecnologías digitales ya sea de manera individual o combinadas entre ellas. Si bien es cierto que existen ejemplos de astilleros y empresas del sector en los que ya se han implantado muchas de estas tecnologías digitales, como es el caso de Fincantieri, Meyer-Werft o KvaernerWarnowWeft, no incluyen la totalidad de desarrollo que ha contemplado el presente estudio.

Con respecto a las tecnologías digitales que colaboran en la disminución de riesgos de accidente, posibilidad de desarrollar enfermedades comunes y riesgos ergonómicos y psicosociales, la figura 6 recoge aquellas tecnologías que intervienen directamente en la

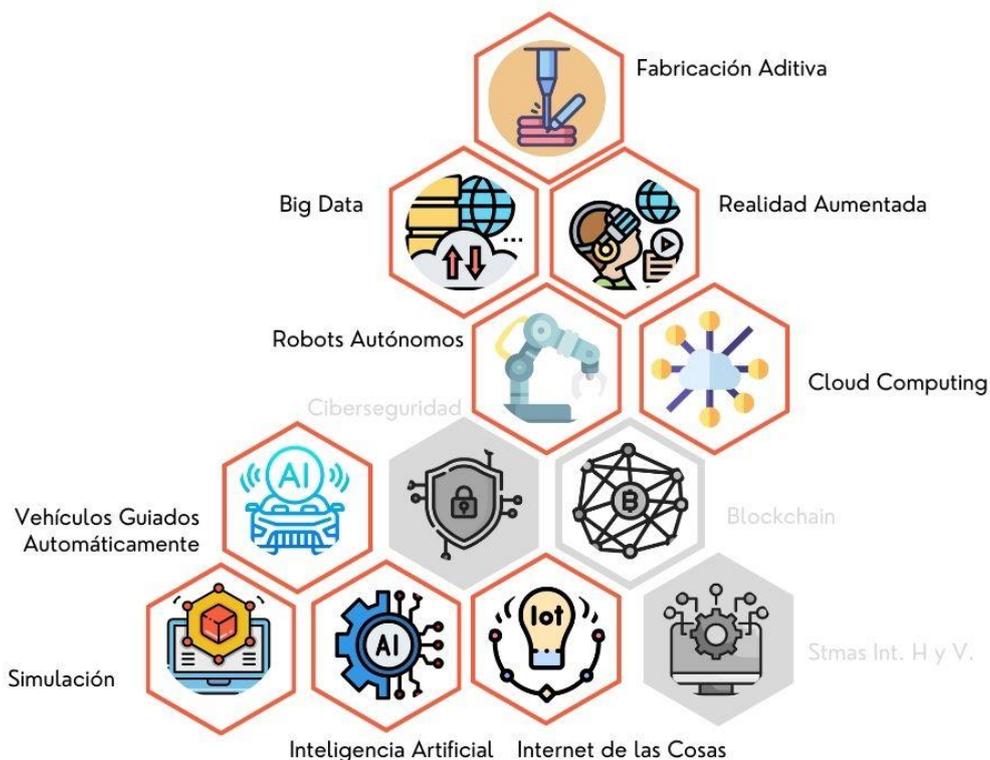
soldadura. En ella se recogen con marco naranja aquellas que directamente han aportado en la disminución de riesgos analizada, mientras que el resto de las tecnologías quedan en un segundo plano. Tecnologías como Fabricación Aditiva, Big Data, Vehículos Autónomos, Robots Autónomos y Colaborativos, Inteligencia Artificial, Cloud Computing, Realidad Aumentada, Internet de las Cosas y Simulación, son las nueve tecnologías clave que, de manera directa, individual o en unión a otras, ayudan de manera considerable a la reducción de riesgos para el trabajador. Mientras que de las tecnologías que han quedado en segundo plano, Ciberseguridad, Sistemas de Integración Horizontal y Vertical y Blockchain, no se han encontrado evidencias directas en la disminución de riesgos, sí que resultan clave para completar el proceso de digitalización del astillero.

Se ha podido analizar cómo mantener un proceso totalmente monitorizado mediante estas tecnologías, permite que en todo momento se conozca y en tiempo real, todos los parámetros de los tipos de soldadura que se estén utilizando, adelantando así la posibilidad de parar y corregir en momentos necesarios, sin tener que esperar a valorar un proceso completo, hecho que ya habla por sí solo con respecto a los tiempos de exposición.

De los datos obtenidos a través del estudio se localizan que existen tecnologías que directamente sustituyen al trabajador soldador permitiendo que dicho trabajador limite su trabajo al control de equipos, puesta en marcha y preparación de estos. Operaciones llevadas a cabo en alturas, lugares estrechos y espacios confinados, pueden ser realizadas mediante el uso de dichas tecnologías.

El análisis de riesgos de los dos escenarios ficticios llevados a cabo ha permitido establecer una comparativa que da como resultado la consecución de la disminución del grado de peligrosidad en prácticamente al 100% pudiendo establecerse para este tipo de operaciones la calificación de riesgo bajo.

Pocos son los estudios que se han llevado a cabo para analizar la influencia de la digitalización en la seguridad de los trabajadores de manera conjunta. Dentro de los que existen, exponen de manera negativa la digitalización en el aspecto psicosocial del trabajador debido a los sobreesfuerzos mentales y a la complejidad de las tareas, sin embargo el estudio llevado a cabo no arroja esa información, indicando las múltiples opciones que presenta de eliminar el grado de peligrosidad tan alto al que puede estar sometido la soldadura.



Por otra parte, también deja entrever como futura línea de investigación, la creación de nuevos puestos de trabajo como consecuencia de la digitalización, tanto a nivel de las propias tecnologías en sí como a los puestos que actualmente han sido sustituidos por ellas.

## 6. Referencias

Ahlers, R. (2004). Cooperative design by using intelligent electronic supplier catalogs in the maritime industry. *Journal of Ship Production*, 20(3), 193–199.

Bragagna, R. (2010). Automation and robotics in the manufacture of welded structures for marine or naval service. *Rivista Italiana Della Saldatura*, 62(1), 37–41.

Churiaque Bermejo, C. (2022). *Soldadura Láser Híbrida de uniones a tope de planchas de acero naval en grandes espesores*. Universidad de Cádiz.

Dheeraj, R., Markande, A., Chandrashekhara, K. L., Sadagopan, V., Joshi, P., & Jha, S. (2023). Augmented Reality Implementation for Fault Diagnosis on Robotic Welding Cell. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 91–101. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0561-2\\_9/COVER](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0561-2_9/COVER)

Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Technological Forecasting & Social Change Driving

- forces and barriers of Industry 4.0 : Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting & Social Change*, 146(October 2018), 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- Ischenko, D., & Ibrahim, R. N. (1998). Development of new welding pattern in order to minimise distortions in marine structure. *Key Engineering Materials*, 149 PART II, 859–864. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.145-149.859>
- Kim, J., Lee, K. Y., Kim, T. W., Lee, D., Lee, S., Lim, C., & Kang, S. W. (2008). Rail running mobile welding robot-RRX3 for the double hull ship structure. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 17(1 PART 1). <https://doi.org/10.3182/20080706-5-KR-1001.3509>
- Lee, J., Choi, W., Kang, M., & Chung, H. (2016). Tolerance analysis and diagnosis model of compliant block assembly considering welding deformation. *Transactions - Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 124, 154–164.
- Lee, J., Choi, W., Kang, M., & Chung, H. (2019). Variation simulation and diagnosis model of compliant block assembly considering welding deformation. *Journal of Ship Production and Design*, 35(3), 263–272. <https://doi.org/10.5957/JSPD.02170004>
- Liu, Q., Chen, C., & Chen, S. (2022). Key Technology of Intelligentized Welding Manufacturing and Systems Based on the Internet of Things and Multi-Agent. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(6), 135. <https://doi.org/10.3390/jmmp6060135>
- Lou, J., Yu, X., Chen, Y., Sun, Z., & Zheng, P. (2023). Robot Welding Path Planning and Application Based on Graphical Computing. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 447, 597–605. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-1607-6\\_53/COVER](https://doi.org/10.1007/978-981-19-1607-6_53/COVER)
- Petershagen, H. (1990). TRENDS IN DESIGN AND FABRICATION OF SHIP STRUCTURES. *Advanced Joining Technologies*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-009-0433-0\\_17](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-009-0433-0_17)
- Podder, D., Das, S., & Mandal, N. R. (2019). Distortions in large stiffened ship panels caused by welding: An experimental study. *Journal of Ship Production and Design*, 35(3), 250–262. <https://doi.org/10.5957/JSPD.180019>
- Polezhayeva, H., Kang, J. K., Lee, J. H., Yang, Y. S., & Kudryavtsev, Y. (2010). A study on residual stress distribution and relaxation in welded components. *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*, 4, 282–289.

Qiang, L., Chao, C., & Chen, S. (2023). Multi-information Sensing and Monitoring Experimental System of Intelligentized Welding Manufacturing Process. *Transactions on Intelligent Welding Manufacturing*, 45–75. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-6149-6\\_3/COVER](https://doi.org/10.1007/978-981-19-6149-6_3/COVER)

Rooks, B. (1997). Robot welding in shipbuilding. In *Industrial Robot* (Vol. 24, Issue 6, pp. 413–417). <https://doi.org/10.1108/01439919710192527>

Song, L., Mao, Y., Xiang, Z., Chen, Z., & Bin, L. (2018). A simulation on the effect of welding sequences for T-joints under single V groove. *Manufacturing Technology*, 18(3), 504–509. <https://doi.org/10.21062/ujep/129.2018/a/1213-2489/MT/18/3/504>

T.Fine, W. (1971). *Mathematical Evaluation for Controlling Hazards*.

Xia, C., Pan, Z., Polden, J., Li, H., Xu, Y., Chen, S., & Zhang, Y. (2020). A review on wire arc additive manufacturing: Monitoring, control and a framework of automated system. *Journal of Manufacturing Systems*, 57(July), 31–45. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.08.008>

Yin, Y., Zheng, P., Li, C., & Wang, L. (2023). A state-of-the-art survey on Augmented Reality-assisted Digital Twin for futuristic human-centric industry transformation. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 81(102515), 102515. <https://doi.org/10.1016/J.RCIM.2022.102515>

Zhou, B., Pychynski, T., Reischl, M., Kharlamov, E., & Mikut, R. (2022). Machine learning with domain knowledge for predictive quality monitoring in resistance spot welding. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 33(4), 1139–1163. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01892-y>

### Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

