

08-007

SYNERGIES BETWEEN PARADIGM I5.0 AND RISK PREVENTION FOR THE IMPROVEMENT OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY

Ramos Calderón, Teresa ⁽¹⁾; Córdoba Roldán, Antonio ⁽¹⁾; Ávila Gutiérrez, María Jesús ⁽¹⁾; Lama Ruiz, Juan Ramón ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad de Sevilla

After successive industrial revolutions, a new manufacturing paradigm called Industry 4.0 (I4.0) has recently been proposed, considered the last industrial revolution. However, without this paradigm being fully consolidated, a new emerging approach appears regarding Industry 5.0 (I5.0), which raises various unknowns for the scientific and professional community. Thus, the discussion between experts arises about the main differences between both paradigms, the definition of technological enablers, the impact of Digital Transformation (DT) on society, its effect on professional well-being, etc. From the perspective of Occupational Health and Safety (OHS), it is essential to assess new scenarios and emerging risks in industrial work environments. Through an exhaustive bibliographic review, the aim is to determine the implications of DT concerning OHS. A methodological proposal is made to facilitate the conception, management, and continuous improvement of the risk prevention area in organizations. Finally, a case study is presented, the application of this proposal to a workstation in a manufacturing plant specialized in plastic injection molding.

Keywords: Occupational Health and Safety (OHS) ; Industry 5.0 (I5.0) ; Industry 4.0 (I4.0) ; Digital Transformation (DT) ; emerging risks ; professional well-being

SINERGIAS ENTRE EL PARADIGMA I5.0 Y LA PRL PARA LA MEJORA DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

Tras sucesivas revoluciones industriales, recientemente se propone un nuevo paradigma de fabricación denominado Industria 4.0 (I4.0). Sin embargo, sin que todavía se encuentre totalmente consolidado dicho paradigma, aparece un nuevo enfoque emergente que hace referencia a la Industria 5.0 (I5.0), el cual plantea diversas incógnitas para la comunidad científica y profesional. Surge así la discusión entre expertos acerca de las principales diferencias, la definición de los habilitadores tecnológicos, el impacto de la Transformación Digital (TD) en la sociedad, su efecto sobre el bienestar laboral, etc. Desde la perspectiva de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) resulta esencial la valoración de nuevos escenarios y riesgos emergentes en ambientes de trabajo industriales. A través de una revisión bibliográfica exhaustiva se persigue determinar las implicaciones de la TD en relación con la SST. Se realiza una propuesta metodológica para facilitar la concepción, gestión y mejora continua del área de la Prevención de Riesgos Laborales (PRL) en las organizaciones. Finalmente, se presenta un caso de estudio, la aplicación de dicha propuesta a un puesto de trabajo en una planta de producción especializada en moldeo por inyección de plástico.

Palabras clave: Prevención de Riesgos Laborales (PRL) ; Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) ; Industria 5.0 (I5.0) ; Industria 4.0 (I4.0) ; riesgos emergentes ; bienestar laboral



© 2023 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. INTRODUCCIÓN

Una revolución industrial puede definirse como un fenómeno disruptivo, una transformación que normalmente está ligada a un cambio en los paradigmas científicos, y sobre todo tecnológicos. Además, los sistemas industriales están mutuamente influenciados por los sistemas sociales, económicos, tecnológicos y científicos (Pinheiro et al., 2019).

En 2011 surge el concepto de Industria 4.0 (I4.0) (Burritt & Christ, 2016), referido a la Cuarta Revolución Industrial, que supone un cambio de paradigma basado en la digitalización de los procesos industriales que conforman la cadena de valor mediante el uso de tecnologías digitales como Sistemas Ciberfísicos, Big Data, Robots Colaborativos, Realidad Virtual, entre otros (L. Da Xu, Xu, & Li, 2018).

Años después aparecen referencias a la llamada "Industria 5.0" (I5.0) (X. Xu, Lu, Vogel-Heuser, & Wang, 2021), y en 2021 la Comisión Europea publica su informe "*Industry 5.0. Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*" (Breque, De Nul, Petridis, & Dirección General de Investigación e Innovación (Comisión Europea), 2021), en el que afirma que este paradigma complementa la I4.0 destacando la investigación y la innovación como impulsores de una transición hacia una industria europea sostenible, centrada en el ser humano y resiliente. La I5.0 incorpora nuevas tecnologías respetando los límites planetarios y posicionando el bienestar de los trabajadores en el centro del proceso productivo.

En definitiva, en la última década ha dado comienzo la transición de la I4.0 a la I5.0, como paradigmas para los sistemas no solo productivos, sino también sociales, económicos, tecnológicos y científicos, presentes en la sociedad del S. XXI. Esta presentación de antecedentes culmina en la actualidad, con un panorama industrial variable en el cual los cambios introducidos inevitablemente conllevarán a condiciones de trabajo diferentes, nuevas necesidades de los trabajadores y riesgos laborales emergentes, lo que se traduce en importantes consecuencias para la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

Por ello, se puede concluir que tanto la I4.0 como la I5.0 implican también un cambio de paradigma en la Prevención de Riesgos Laborales (PRL) (Ibermática, 2021). La rápida integración de los avances tecnológicos en la vida de las personas está teniendo sus efectos en una sociedad que no está preparada desde el punto de vista de la SST (Nahavandi, 2019).

A pesar de la importancia de la SST y la PRL, así como los múltiples estándares y normativas existentes a nivel nacional e internacional, los autores manifiestan (Ávila-Gutiérrez et al., 2022; Danneels & Viaene, 2022; Falegnami et al., 2021) su preocupación debida a la gran cantidad de publicaciones y estudios sobre I4.0 e I5.0, frente al limitado número de publicaciones que abordan sus consecuencias en términos de seguridad, salud y bienestar en lugares de trabajo.

La principal motivación del presente estudio es suplir la carencia detectada en relación a estudios que aborden la SST y la PRL en entornos de trabajo propios de la I5.0. Para ello se realiza una revisión bibliográfica exhaustiva que permite establecer puntos fundamentales en este ámbito de estudio. Finalmente se realiza una propuesta metodológica adaptada específicamente a los sistemas técnicos complejos en el contexto de la I5.0.

En el presente estudio se plantea como objetivo general clarificar conceptos clave en relación al ámbito de la SST en el contexto de la Transformación Digital, que incluye los dos últimos paradigmas tecnológicos, I4.0 e I5.0. A su vez este objetivo principal engloba los siguientes objetivos específicos: O1. Análisis y comparativa entre la Cuarta Revolución Industrial y la I5.0. Retos y oportunidades para la sociedad del S. XXI. O2. Clarificar las sinergias e impactos derivados de la I5.0 desde la perspectiva de la PRL y la SST. O3. Propuesta de modelo

metodológico para abordar de forma holística la concepción y gestión de la PRL y la SST en lugares y puestos de trabajo bajo el paradigma I5.0. Destacar que dicha propuesta metodológica servirá como guía facilitadora para los stakeholders implicados y la comunidad científica e industrial.

2. METODOLOGÍA

Como se muestra en la figura 1, la búsqueda en Web of Science (WoS) proporciona evidencias del creciente interés y el esfuerzo de investigación en las últimas revoluciones industriales. En la figura 1 (a) se aprecia un elevado número de documentos publicados que abordan el paradigma de la I4.0, surgiendo las primeras publicaciones en el año 2013 con una tendencia creciente hasta la actualidad (2021).

Realizando una comparativa con el paradigma de la I5.0, en la figura 1 (b) se observa una drástica diferencia en el número de publicaciones, muy inferior al anterior. Los primeros estudios aparecen en el año 2016, existiendo un notable crecimiento hasta la actualidad (2021).

Figura 1. Evolución en el tiempo de publicaciones en WoS (años, número publicaciones).
Fuente: WoS.



Las transiciones entre las últimas revoluciones industriales han tenido lugar en un reducido lapso de tiempo y de forma difusa, lo que justifica la reciente y limitada amplitud temporal en la que se encuentra la literatura científica. La investigación en relación a estos ámbitos está sujeta a multitud de cambios, puesto que se siguen dando avances de forma contemporánea. Además, la perspectiva de la PRL en estos entornos es un área escasamente explorada, que desde sus orígenes ha ganado un protagonismo cada vez mayor en la sociedad.

La Quinta Revolución Industrial está despertando el interés de la comunidad científica a nivel mundial desde 2018 aproximadamente. Debido a esto, la revisión Status quo sistemática realizada en este proyecto de investigación se acota al periodo comprendido entre los años 2012 y 2022. Destacar la aplicación de una metodología de revisión inspirada en la Declaración PRISMA que se aborda a continuación, adaptando al enfoque y alcance a las fases del proceso.

Como marco de trabajo se definió la orientación del estudio formulando las siguientes preguntas de investigación o Research Questions (RQ):

RQ1: ¿Es posible definir características y tecnologías que diferencien la I4.0 del nuevo paradigma I5.0?

RQ2: ¿Existen herramientas metodológicas que permitan valorar la idoneidad de la gestión de la PRL desde el enfoque de la Macroergonomía, en un lugar de trabajo integrado en el contexto de la I5.0?

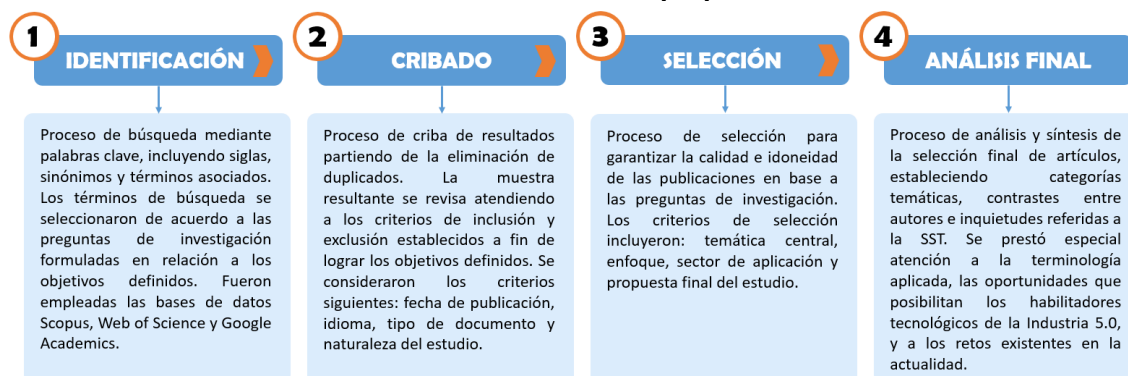
RQ3: ¿Es posible proponer un modelo holístico que facilite la concepción, gestión y mejora continua del área de PRL y SST, permitiendo comparar diferentes lugares de trabajo en el contexto de la I5.0 de acuerdo al nivel de seguridad, salud y bienestar según el enfoque macroergonómico?

RQ4: ¿Puede afirmarse que la I5.0 tiene un impacto en el ámbito de la SST para los diferentes stakeholders implicados en la cadena de suministro?

En el presente estudio se lleva a cabo una revisión de tipo Status Quo sistemática. La figura 2 muestra las fases seguidas en el proceso metodológico, contando finalmente con un total de 120 publicaciones seleccionadas de las cuales 80 trabajos fueron incluidos en el presente estudio, extraídas del conjunto total de investigaciones y estudios revisados en el desarrollo del estudio.

Para lograr los objetivos planteados se llevó a cabo un análisis bibliográfico mediante una metodología planteada tomando como referencia la Declaración PRISMA para revisiones sistemáticas. Se establecen cuatro fases en el proceso metodológico de revisión: (1) Identificación; (2) Cribado; (3) Selección; y (4) Análisis final como se muestra en detalle en la Figura 2.

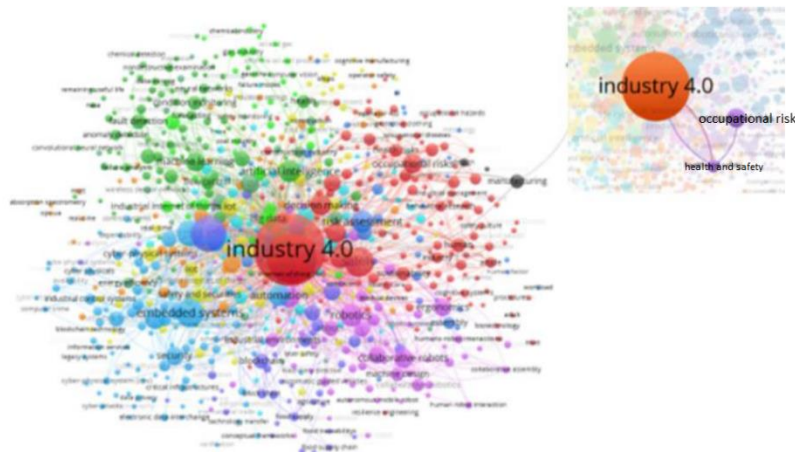
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso metodológico.
Fuente: elaboración propia.



3. RESULTADOS

Las publicaciones seleccionadas fueron clasificadas siguiendo diferentes criterios como se presenta a continuación. En un primer nivel se diferenciaron dos grupos principales, de acuerdo a la referencia a la I4.0 o bien a la I5.0. Además, se establecieron categorías temáticas en función de la tecnología de aplicación, la contribución a la SST, el sector industrial analizado y los casos de aplicación. En la figura 3 se muestra el análisis de resultados en forma de mapa visual de la red bibliométrica obtenida a partir de la muestra de publicaciones seleccionadas al final del proceso de revisión.

Figura 3. Mapa de red bibliométrica con 13 clusters.
Fuente: elaboración propia.

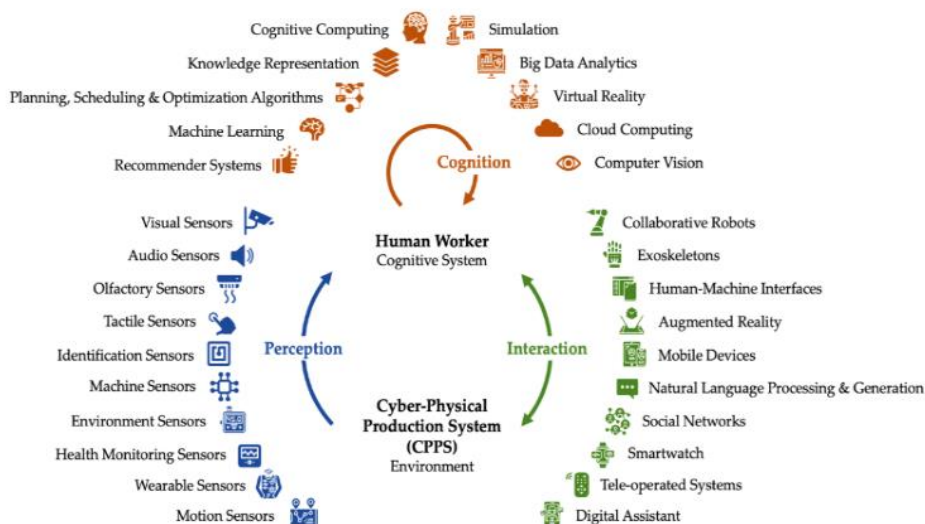


Para dar respuesta a las diferentes RQ, se sintetizaron diversos conceptos clave en el ámbito de interés, así como tablas unificadoras para la comparativa entre autores. Como aportaciones propias se presenta la siguiente definición del término I4.0:

“Nuevo paradigma de fabricación industrial basado en la conexión entre el mundo físico y el mundo virtual mediante tecnología inteligente, de forma que existe un flujo de información en tiempo real entre personas, máquinas, instalaciones, componentes y productos interconectados. Como resultado se incrementan la productividad, eficiencia y autonomía, no solo de los sistemas productivos, sino de toda la cadena de suministro.”

En la figura 4 se muestra un extenso grupo de habilitadores tecnológicos propios de la I4.0.

Figura 4. Habilitadores tecnológicos y digitales de la I4.0.
Fuente: extraído de (Longo, Padovano, & Umbrello, 2020)



Por otro lado, uno de los conceptos fundamentales es el operador en sistemas de fabricación inteligentes (Wegener et al., 2021), que incluye al Operador 4.0 y al Operador 5.0. (Gazzaneo, Padovano, & Umbrello (2020) plantea la herramienta *Operador 4.0 Compass*, creada con el objetivo final de proporcionar una descripción clara del Operador 4.0 en relación con el

conjunto de tecnologías propias de la I4.0, diferenciando aquellas relacionadas con las actividades de los técnicos industriales y sus capacidades potenciadas.

El pequeño número de publicaciones recuperadas sobre la integración de la PRL y SST en la I4.0 debería generar preocupación, dado que se consultó una base de datos interdisciplinaria que abarca una amplia gama de tipos de documentos (Scopus), y que se habría obtenido el mismo resultado consultando otras bases de datos (Danjou, Pellerin, & Rivest, 2017).

La llegada de la I5.0 requiere la adopción, estandarización e implementación de nuevas tecnologías que trabajan en armonía con las personas en contextos industriales como cadenas de suministro y plantas de fabricación. Estas tecnologías están al servicio de las personas, de forma que los avances tecnológicos permiten adaptar el proceso productivo a las necesidades del trabajador (Breque et al., 2021). Actualmente el desarrollo de la infraestructura tecnológica necesaria, el desempeño de los técnicos y la adopción e integración de estas nuevas tecnologías son importantes áreas de investigación (Mourtzis, Angelopoulos, & Panopoulos, 2022)

De acuerdo a (Romero & Stahre, 2021) para conseguir la simbiosis hombre-máquina y abordar las tres características principales de la I5.0, pueden considerarse entre otros, los siguientes dominios de investigación:

- **Centralidad humana/*Human centrlicity***

La automatización centrada en el ser humano (Jafari, Azarian, & Yu, 2022; Longo et al., 2020; Romero & Stahre, 2021), como sistemas de automatización, robótica e inteligencia artificial diseñados para trabajar en cooperación con los seres humanos, reduciendo su carga de trabajo cognitiva y física y mejorando el rendimiento general del sistema.

- **Sostenibilidad.**

Atendiendo especialmente a la Sostenibilidad Social de la Fabricación (Najjar et al., 2020; Pimenta et al., 2021), como la dimensión menos abordada de los tres pilares de la sostenibilidad, "Triple Bottom Line" (Braccini & Margherita, 2019).

- **Resiliencia.**

Ingeniería de Resiliencia (Ouedraogo, Enjalbert, & Vanderhaegen, 2013; Romero & Stahre, 2021) aplicada a sistemas humanos, máquinas y sistemas mixtos, que son diseñados considerando la capacidad de evitar, resistir, adaptarse y recuperarse de interrupciones y situaciones sin precedentes, tanto a nivel individual como sistémico.

En este trabajo de investigación se aporta la siguiente definición de I5.0:

"Paradigma de fabricación industrial derivado de la I4.0, con un nuevo enfoque que integra tres pilares fundamentales: sostenibilidad, resiliencia y centralidad humana. Se caracteriza por el uso de las tecnologías propias de la I4.0 con un nuevo objetivo, la simbiosis hombre-máquina".

Puede concluirse, por tanto, que la principal diferencia entre estos paradigmas no reside en la infraestructura tecnológica, sino más bien en el cambio de enfoque. Cabe decir que, a lo

largo del tiempo la transición entre estas revoluciones ha sido el periodo de transición más pequeño entre una revolución industrial y la siguiente a lo largo de la Historia. Esto explica la escasa diferencia que existe a nivel tecnológico, puesto que las tecnologías disponibles son prácticamente iguales y lo que varía realmente es el enfoque de aplicación.

4. PROPUESTA DE MARCO DE TRABAJO

La Teoría Holónica fue introducida en 1967 por Arthur Koestler en su libro sobre psicología filosófica "The ghost in the machine" (Koestler, 1967), que explica la evolución de los sistemas biológicos y sociales mediante esta teoría. Como menciona el propio autor, "los sistemas complejos surgen si se componen de subsistemas estables, cada uno de ellos capaz de sobrevivir ante perturbaciones, pero además capaces de cooperar para formar un sistema estable más complejo".

Un holón puede definirse como la entidad básica de análisis y síntesis como un todo (proceso) y como parte (producto) con capacidad operacional sobre la materia, energía e información. En un sistema que integra personas y máquinas, los tipos de holones básicos serán holón persona, holón interface y holón máquina (Martín-Gómez, Ávila-Gutiérrez, & Aguayo-González, 2021). Dado que un holón contiene subsistemas o partes, influye y está influido a su vez por estas partes. La información fluye bidireccionalmente entre sistemas menores y mayores.

Según Koestler un sistema holónico es una jerarquía de holones y holarquías autorregulados que funcionan (i) como totalidades autónomas en ordenación superior a sus partes, (ii) como partes dependientes en subordinación al control en niveles superiores y (iii) en coordinación con su entorno (Giret & Botti, 2004). En un sistema holónico se identifican tres amplios niveles:

- Nivel N+1. La parte superior del sistema integra el Dominio de Colaboración. Es el conjunto de holarquías que puede entenderse como la dimensión más amplia del entorno. En este nivel se obtienen los Requerimientos Funcionales (RFs) que derivan al holón central.
- Nivel N. Actúa como interfaz de adaptación ante la variedad entre los niveles superior e inferior, N-1 y N+1. Abarca el holón central limitando la frontera entre la visión micro, en la que el holón central actúa como parte, y la visión macro, en la que actúa como todo.
- Nivel N-1. Integra el Dominio de Cooperación. Holarquía de holones que intervienen en el sistema como parte y derivan del holón central.

También se identifica en el sistema el entorno, definido como variables ambientales internas y externas que configuran las contingencias en las que el holón opera y es evolutivamente estable.

La Teoría Holónica como marco teórico para la concepción, gestión y mejora continua de sistemas complejos presenta múltiples posibilidades. Un ejemplo de ello es el estudio de (Martín-Gómez, Ávila-Gutiérrez, & Aguayo-González, 2021) en el que se establecen tres perspectivas del SH: el modelo conceptual, el modelo informacional y la simulación y prototipado del sistema.

En este sentido la perspectiva de la PRL permite la aplicación del Diseño Macroergonómico considerando la organización o empresa a nivel macro, y llegando hasta el nivel micro en el puesto de trabajo específico. La Ingeniería de la Prevención tiene distintos niveles de actuación, como son los de nivel de tarea, puesto de trabajo, proceso, empresa, sistema de

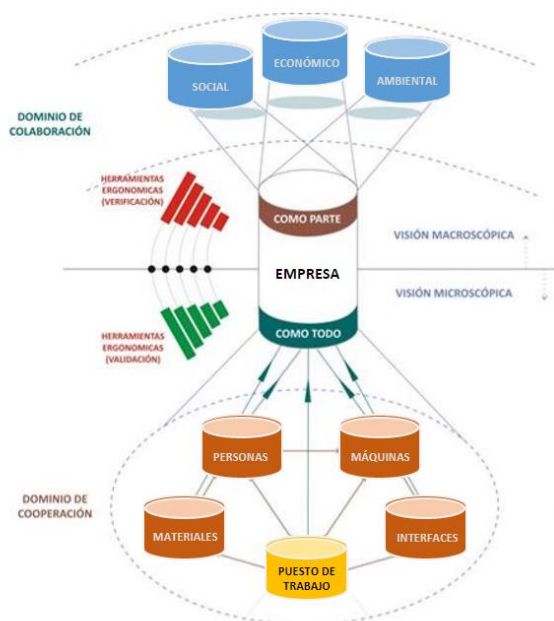
fabricación o proyecto técnico. Para cada uno de estos niveles existen distintas vistas o aspectos de los mismos que han de ser integrados armónicamente y de forma robusta, contemplándolos desde la perspectiva de la PRL y la SST, con el propósito de mejorar las condiciones del puesto de trabajo y de reducir los riesgos laborales (Aguayo González, Ávila Gutiérrez, Córdoba Roldán, & Martín Gómez, 2014).

Por otro lado, cabe decir que la concepción de un modelo de arquitectura holónica bajo el enfoque macroergonómico se obtiene siguiendo las fases del proceso de diseño y desarrollo de un sistema:

- a) Análisis del holón como parte.
- b) Síntesis del holón como todo.
- c) Implementación tecnológica del holón.
- d) Validación y verificación del sistema.

En la siguiente imagen, figura 7, se muestra el enfoque Triple Bottom Line en el nivel superior para la integración de la dimensión sostenibilidad en el modelo, como marco de partida para el sistema holónico que integra en el nivel micro el puesto de trabajo junto con los holones principales considerados en el presente estudio.

Figura 5. Estructura esquemática básica del modelo holónico propuesto.
Fuente: adaptado de (Aguayo González et al., 2014).



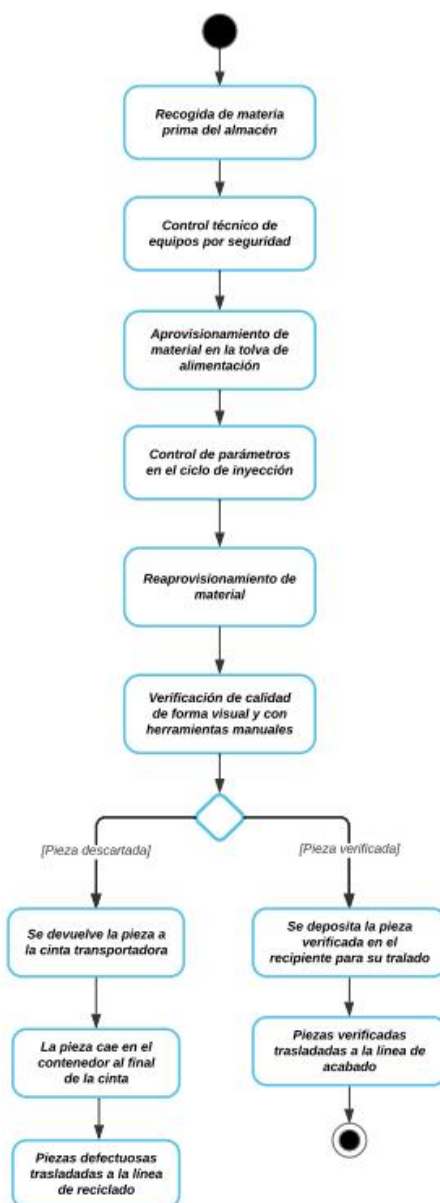
5. CASO DE ESTUDIO

Como caso de estudio ficticio, basado en datos extraídos de empresas reales, de forma que las condiciones de forma que cumple las condiciones suficientes como para reflejar circunstancias que podrían darse en un caso real, y así asegurar la adecuación del modelo metodológico propuesto. La empresa PlasticLabs S.L. está destinada a la fabricación por moldeo por inyección de productos. En un contexto industrial como el puesto de trabajo del

operario inyector de plásticos, resulta esencial garantizar la seguridad ante la diversidad de riesgos laborales. Para ello será necesario integrar de forma holística factores clave en el caso de estudio, tales como la compañía, las instalaciones, los equipos de trabajo y las tareas que conlleva el puesto de trabajo, entre otros.

El puesto del operario se integra en la línea de inyección. En el lugar de trabajo se distinguen dos áreas diferenciadas, la zona de inyección y la zona de verificación unidas por una cinta transportadora a través de la cual irán desplazándose las piezas inyectadas. A continuación, se presenta un diagrama UML de la secuencia de tareas que realiza el operario, figura 6.

Figura 6. Diagrama UML de Actividades para el operario de inyección.
Fuente: elaboración propia.



A continuación, se presenta en la tabla 1 de forma sintetizada el proceso de modelado basado en arquitectura holónica para el caso de estudio expuesto.

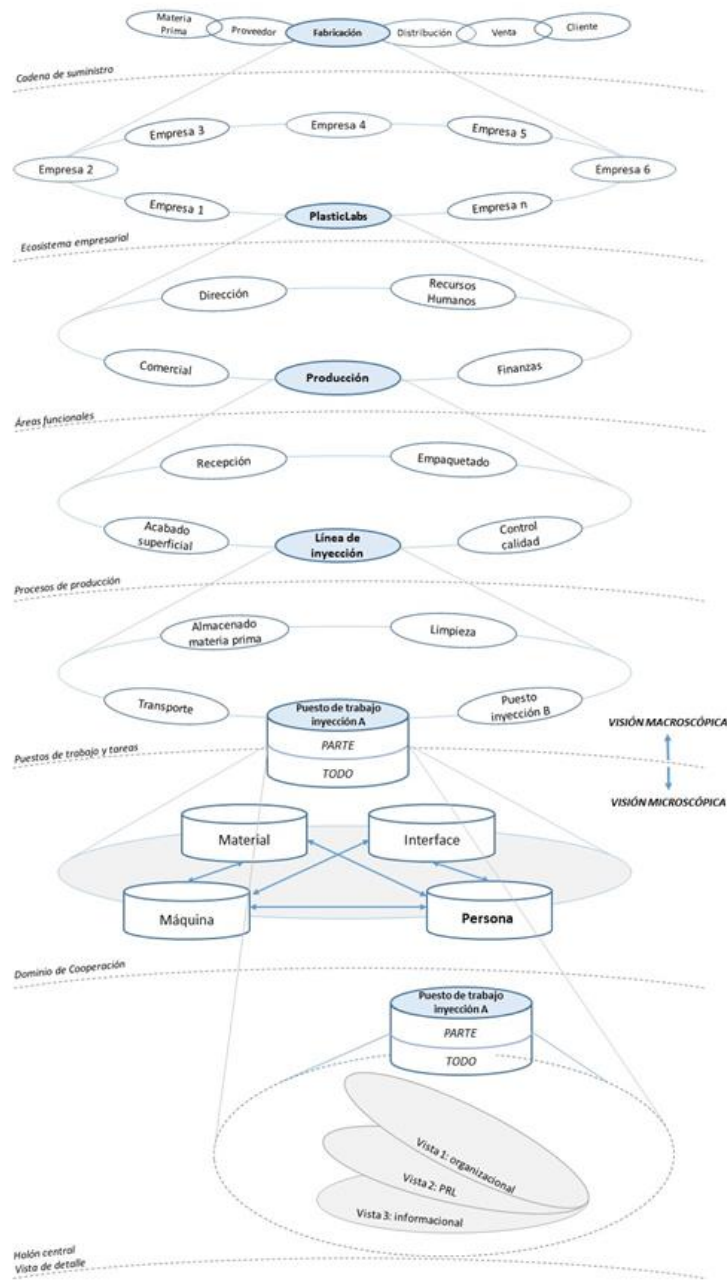
Tabla 1. Niveles en SH y particularización al caso de estudio.
Fuente: elaboración propia.

Nivel	Arquitectura Genérica	Caso de Estudio
N+1 Macroergonómico (Dominio de Colaboración)	Cadena de Valor/ Cadena de Suministros	Operaciones, Fabricación
	Ecosistema empresarial - Compañías	Compañía PlasticLabs
	Dptos. Empresa	Dpto. Producción
	Lugares de trabajo	Línea de inyección
Holón Central	Puesto de trabajo	Operario de inyección
N-1 Microergonómico (Dominio de Cooperación)	Holones: Personas, materiales, maquinaria (equipos de trabajo), interfaces	Holón personas Holón materiales Holón maquinaria Holón interfaces
	VISTAS: holarquía organizacional, holarquía de PRL	Vista Organizacional Vista de PRL y SST

El modelo propuesto se compone del Holón Central, junto al Dominio de Colaboración y al Dominio de Cooperación. Éste último integra distintas vistas holárquicas por debajo del Holón Central. Estas vistas están formadas por holones u otras organizaciones holónicas de menor tamaño y representan una perspectiva específica del sistema, facilitando la gestión de la complejidad en casos de estudio.

Se muestra seguidamente en la figura 7 el modelo propuesto particularizado al caso de estudio en la empresa PlasticLabs S.L. El Dominio de Colaboración se ha desglosado en múltiples niveles desde la cadena de suministros o Supply Chain para lograr una amplitud de enfoque óptima dada la complejidad de factores y del propio sistema. En el nivel micro se encuentra el holón central, el puesto de trabajo en la línea de inyección con la máquina inyectora A. Además, se presenta una vista de detalles de este último para mostrar algunas de las vistas de complejidad, siendo de mayor interés la vista de PRL de acuerdo al enfoque del presente proyecto.

Figura 7. Esquematación detallada del modelo holónico propuesto.
 Fuente: elaboración propia.



6. CONCLUSIONES

Al inicio del estudio, durante la realización de la revisión bibliográfica preliminar, se pudo detectar fácilmente la falta de consenso en multitud de temáticas entre la comunidad científica, puesto que los cambios son paulatinos en la transición entre I4.0 e I5.0.

Esto denota también de forma intrínseca la falta de información actualizada referida a PRL, la falta de consciencia en las organizaciones acerca del impacto de las nuevas tecnológicas que se gestionan sin la correcta visión macroergonómica, y sobre todo la falta de técnicas y herramientas metodológicas para dar respuesta a las necesidades derivadas del problema expuesto.

Se ha podido constatar que existe una carencia notable de investigaciones y estudios centrados en el impacto de la I5.0 en entornos de trabajo y en términos de PRL, SST y Macroergonomía.

El panorama cambiante actual supone un importante desafío en los sistemas sociotécnicos y particularmente los entornos industriales. La aparición de riesgos emergentes asociados a la integración de habilitadores tecnológicos y digitales no solo afecta a los trabajadores en empresas de fabricación industrial, sino a diversos niveles del sistema total que integra en su mayor nivel la cadena de suministros.

Por ello la actualización de la información, medidas y control de PRL en las organizaciones es sumamente importante. El desarrollo de herramientas metodológicas que faciliten el proceso de concepción y de gestión en diversas fases como la gestión de la información, el establecimiento de protocolos, la optimización y mejora continua del sistema, etc.

A pesar de las complicaciones en el ámbito de la PRL asociadas a las nuevas tecnologías, son muy numerosas las posibilidades y soluciones que aportan simultáneamente la inclusión de dichos avances tecnológicos.

Existen en la actualidad recursos que permitan la mejora continua en la gestión de la PRL a nivel organizacional, y así lo demuestran referencias encontradas en la literatura que señalan la Teoría Holónica como marco metodológico muy útil en el análisis de sistemas complejos. Sin embargo, la carencia detectada en cuanto a estudios enfocados desde la perspectiva de la PRL y la SST en el contexto de la I5.0 es innegable, y preocupante.

En el momento de transición entre la I4.0 y a I5.0 en que se encuentra el sistema actualmente, no solo productivo sino también social y global, queda patente que aún queda mucho por hacer en este ámbito. Sin contar con un ritmo cada vez mayor de integración de nuevas formas de trabajar, nuevas tecnologías, nuevos hábitos laborales y nuevas necesidades en los lugares de trabajo.

El modelo propuesto supone un marco de actuación para futuras investigaciones en el ámbito de la PRL y la SST, que además puede ser particularizado en contextos propios de la I5.0, y en el ámbito del modelado y análisis de sistemas sociotécnicos complejos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo González, F., Ávila Gutierrez, M. J., Córdoba Roldán, A., & Martín Gómez, A. M. (2014). Modelo Ergo-Ecológico bajo el Paradigma Holónico. *Prevención Integral & ORP Conference*. Retrieved from <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2014/modelo-ergo-ecologico-bajo-paradigma-holonico>
- Braccini, A. M., & Margherita, E. G. (2019). Exploring Organizational Sustainability of Industry 4.0 under the Triple Bottom Line: The Case of a Manufacturing Company. *Sustainability 2019, Vol. 11, Page 36, 11(1)*, 36. <https://doi.org/10.3390/SU11010036>
- Breque, M., De Nul, L., Petridis, A., & Dirección General de Investigación e Innovación (Comisión Europea). (2021, January). Informe "Industry 5.0 - Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry." Retrieved June 5, 2022, from https://ec.europa.eu/info/publications/industry-50_es
- Burritt, R., & Christ, K. (2016). Industry 4.0 and environmental accounting: a new revolution? *Asian Journal of Sustainability and Social Responsibility*. <https://doi.org/10.1186/s41180-016-0007-y>

- Da Xu, L., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Danjou, C., Pellerin, R., & Rivest, L. (2017). Industria 4.0: formas de abordar la era digital y la conectividad. *CEFRIO*.
- Gazzaneo, L., Padovano, A., & Umbrello, S. (2020). Designing smart operator 4.0 for human values: A value sensitive design approach. *Procedia Manufacturing*, 42, 219–226. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2020.02.073>
- Giret, A., & Botti, V. (2004). Holons and agents. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 15(5), 645–659. <https://doi.org/10.1023/B:JIMS.0000037714.56201.A3>
- Ibermática, E. T. F. (2021). INDUSTRIA 5.0. Diferencias, objetivos y pilares fundamentales de la nueva era digital. Retrieved June 27, 2022, from <https://ibermaticaindustria.com/blog/industria-5-0-que-es-diferencias-y-objetivos/>
- Jafari, N., Azarian, M., & Yu, H. (2022). Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics? *Logistics*, 6. <https://doi.org/10.3390/LOGISTICS6020026>
- Koestler, A. (1967). *The Ghost in the Machine*. The Macmillan Company.
- Longo, F., Padovano, A., & Umbrello, S. (2020). Value-oriented and ethical technology engineering in industry 5.0: A human-centric perspective for the design of the factory of the future. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(12), 1–25. <https://doi.org/10.3390/APP10124182>
- Martín-Gómez, A., Ávila-Gutiérrez, M. J., & Aguayo-González, F. (2021). Holonic reengineering to foster sustainable cyber-physical systems design in cognitive manufacturing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/app11072941>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2022). OPERATOR 5.0: A SURVEY ON ENABLING TECHNOLOGIES AND A FRAME-WORK FOR DIGITAL MANUFACTURING BASED ON EXTENDED REALITY. *Journal of Machine Engineering*, 22(1), 43–69. <https://doi.org/10.36897/jme/147160>
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A Human-Centric Solution. *Sustainability 2019, Vol. 11, Page 4371*, 11(16), 4371. <https://doi.org/10.3390/SU11164371>
- Ouedraogo, K. A., Enjalbert, S., & Vanderhaegen, F. (2013). How to learn from the resilience of Human-Machine Systems? *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1016/J.ENGAPPAI.2012.03.007>
- Pinheiro, P., Putnik, G. D., Castro, A., Castro, H., Fontana, R. D. B., & Romero, F. (2019). Industry 4.0 and industrial revolutions: An assessment based on Complexity. *FME Transactions*. <https://doi.org/10.5937/FMET1904831P>
- Romero, D., & Stahre, J. (2021). Towards the Resilient Operator 5.0: The Future of Work in Smart Resilient Manufacturing Systems. *Procedia CIRP*, 104, 1089–1094. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2021.11.183>
- Wegener, K., Weikert, S., Mayr, J., Maier, M., Ali Akbari, V. O., & Postel, M. (2021). Operator Integrated – Concept for Manufacturing Intelligence. *Journal of Machine Engineering*, 21(4), 5–28. <https://doi.org/10.36897/JME/144359>
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530–535. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2021.10.006>

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

