

08-022

## THE DIGITIZATION OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY. AN APPROACH FOR OHS 4.0.

Montoro Osuna, Estela M<sup>a</sup>; Ávila Gutiérrez, M<sup>a</sup> Jesús; Aguayo González, Francisco

Universidad de Sevilla

The Fourth Industrial Revolution or Digitization is real. Companies are pursuing the optimization of their resources applying, to traditional manufacturing models as Lean Manufacturing, the benefits that come from the interconnexion between all the components that take part in a productive system. From this interconnexion and the autonomous work of machines arise a new approach for occupational risk prevention that have to deal with old risks (most of them eliminated or, at least, reduced) and the new ones that could hurt the operator 4.0. In this document we work with the review of those new risks, there are some emerging approaches: neuroscience applied to learning, training and evaluation.

**Keywords:** *industry 4.0; digitalisation; operator 4.0; new and emerging risks; neuroscience*

## LA DIGITALIZACIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES. UNA APROXIMACIÓN PARA LA PRL 4.0

La llegada de la denominada Cuarta Revolución Industrial o Digitalización es una realidad. Las empresas persiguen una optimización de sus recursos añadiendo a las metodologías tradicionales, como Lean Manufacturing, los beneficios de la interconexión de todos los componentes de los sistemas productivos. Es precisamente esta interconexión y el trabajo relativamente autónomo de la maquinaria lo que, a la vez, elimina o reduce los riesgos clásicos de las industrias y hace que emerjan otros nuevos que afectarán al operario 4.0. No obstante, de igual forma que surgen nuevos riesgos, surgen también nuevas formas de abordarlos y por ello se va a tratar en este documento una revisión de las nuevas áreas de enfoque como son la neurociencia aplicada al aprendizaje, al entrenamiento y a la evaluación.

**Palabras clave:** *industria 4.0; digitalización; operario 4.0; riesgos nuevos y emergentes; neurociencia*

Correspondencia: Estela Montoro: estelamontoro1@gmail.co

Francisco Aguayo: faguayo@us.es

M<sup>a</sup> Jesús Ávila: mavila@us.es

Acknowledgements/Agradecimientos: Francisco Aguayo, M<sup>a</sup> Jesús Ávila



©2019 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. Contenido

## 1.1 Introducción

La Cuarta Revolución Industrial es ya una realidad. Actualmente se pueden encontrar a lo largo de las líneas de producción de numerosas empresas cómo estas monitorean en tiempo real el funcionamiento de las máquinas, ejemplos de cooperación máquina-operario en determinadas tareas e incluso la implementación de carretillas autónomas que sirven material a los distintos puestos de trabajo cuando así se requiere.

No obstante, el modelo productivo que aún impera hoy en día es el denominado Lean Manufacturing (también denominado Manufactura Esbelta) gracias a su base sólida donde se optimiza la producción, eliminando los 8 (7+1) desperdicios clásicos: defectos, sobreproducción, esperas, talento sin acción, transporte, inventario, movimientos y retrabajos.

El hecho de que aflore un nuevo modelo para la optimización mediante la digitalización no implica que las empresas deban escoger entre este y el modelo de flujos ajustados. A lo largo de este trabajo se exponen los beneficios de la correcta digitalización del modelo Lean Manufacturing y los resultados sinérgicos de dicha colaboración.

Así mismo, no es de extrañar que con el empleo de nuevos modelos productivos surjan nuevos riesgos asociados. Durante la redacción de este trabajo también se abordará desde una nueva perspectiva, ligada a la interconexión procedente de la Industria 4.0 (I4.0), las posibilidades que se abren en la reducción y eliminación tanto de los riesgos clásicos como de los Riesgos Nuevos y Emergentes en las fábricas 4.0, donde cada elemento formará parte de una red de información extraordinaria que permitirá actuar a tiempo real sobre las personas, los procesos y las máquinas, gestionando verdaderamente un sistema preventivo.

No obstante, antes de adentrar al lector en la Industria 4.0, es de interés conocer el proceso evolutivo que ha sufrido esta a través de las distintas revoluciones:

### Primera Revolución Industrial

Se conoce como Primera Revolución Industrial al periodo de transformación económica, social y tecnológica iniciado en la segunda mitad del siglo XVIII en Gran Bretaña, caracterizado por la producción en serie, facilitada por la invención de la máquina a vapor y caracterizada por fábricas con condiciones higiénicas y de seguridad paupérrimas, generando la denominada “clase menesterosa” donde las mujeres y los niños se veían aún más perjudicados (Arias, 2012) (Molina, 2006).

Los riesgos imperantes en esta época se relacionan con las condiciones de higiene y explotación laboral en la minería, la siderurgia y la fabricación textil en España, donde las preocupaciones por las condiciones de salubridad dentro de las fábricas son inexistentes, pese al edicto de protección contra accidentes de Carlos III (Arias, 2012). Además, los Gremios son prohibidos por decreto, como testimonio de la creencia de su falta de utilidad dentro del marco fabril, dejando a los obreros más desprotegidos (Molina, 2006). No obstante, es a partir de 1880 cuando surgen las primeras leyes que protegen tímidamente a mujeres y niños, velan por la sanidad dentro de la Industria y crean la figura del inspector de fábricas (Arias, 2012).

### Segunda Revolución Industrial

Bajo este término se agrupan las transformaciones socio-económicas que se vivieron en Europa entre los años 1870 y el primer tercio de los del siglo XX caracterizadas por el uso

del gas, el petróleo y la electricidad como fuentes de energía y con la producción en masa y el motor de combustión interna como hitos tecnológicos.

Los riesgos asociados a este periodo provienen de la mayor capacidad de producción y potencia de la maquinaria, así como otros riesgos de carácter higiénico y ergonómico, principalmente.

En España la creciente preocupación y la progresiva concienciación sobre la accidentalidad laboral desemboca en la creación del Instituto Nacional de Prevención y el Ministerio de Trabajo, así como a la Ley de Accidentes de trabajo de 1900, mientras que a nivel internacional se funda la OIT como órgano de referencia (Arias, 2012) (García, 2007).

### Tercera Revolución Industrial

Este término contemporáneo denomina a un periodo que comienza en 1950 y se extiende prácticamente hasta la actualidad caracterizado por el conjunto de avances en la tecnología de la comunicación, el uso de Internet y el desarrollo exponencial de las energías renovables, contando con la automatización y la invención del circuito integrado (microchip) como principales representantes de la actividad industrial y la tecnología.

En esta época la preocupación y evaluación de riesgos abarcan desde los de carácter higiénico, ergonómico, psicosocial, de seguridad industrial hasta los relativos a la salud pública y el medio ambiente.

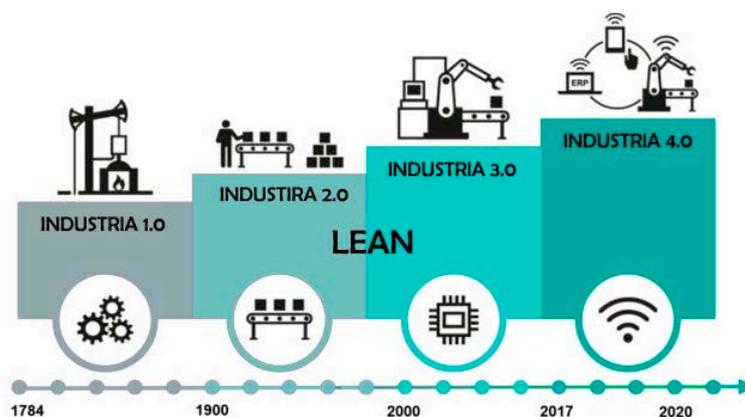
En España cabe destacar la creación del Servicio Social de Higiene y Seguridad en el Trabajo (actual INSHT), la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.G.S.H.T.) y la regulación de los Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo, esfuerzos todos ellos que culminaron con la creación del Estatuto de los Trabajadores y la Ley de PRL de 1995 (Sánchez, 2001).

### Cuarta Revolución Industrial

El paradigma de la Cuarta Revolución Industrial caracteriza a un nuevo modelo de organización de la producción basado en la digitalización y la interconexión en las industrias conformando las Smart factories (fábricas inteligentes) y haciendo uso de nuevos avances como son Big Data, Intert of Things (IoT)/Industrial Internet o Things (IIoT), cloud, sistemas ciberfísicos, etc. (Pereira & Romero, 2017).

Como consecuencia de la implementación de un nuevo modelo surgen Riesgos Nuevos y Emergentes (RNE) que comienzan a ser abordados paulatinamente por el marco estratégico de la UE y la estrategia española de Seguridad y Salud en el Trabajo.

**Figura 1: Evolución industrial**



## 1.2 Objetivos

La creación del artículo responde a una serie de objetivos que han sido marcados para su desarrollo y que pueden verse resumidos en los siguientes puntos:

1. Realizar una revisión del panorama industrial actual y futuro mediante los conceptos de Lean Manufacturing e Industria 4.0 para crear el marco conceptual de la seguridad y salud 4.0.
2. Realizar una revisión sobre los dos abordajes posibles en estrategias de seguridad y salud con los beneficios de la Industria 4.0.
3. Dar visibilidad a los Riesgos Nuevos y Emergentes así como a aquellos riesgos clásicos que pueden ser tratados desde una perspectiva prevencionista 4.0 (implantación de la PRL 4.0).

## 1.3 Metodología

Para la preparación del texto se ha realizado una revisión bibliográfica asociada a los siguientes términos:

- Digitalización de la industria
- Industria 4.0
- Lean Manufacturing
- Prevención 4.0
- Riesgos Nuevos y Emergentes

Las búsquedas de artículos de interés relacionados con los conceptos listados anteriormente han sido realizadas, principalmente, en la base de datos bibliográfica sobre ingeniería y tecnología Ei Compendex.

La estructura seguida en el presente artículo consiste en realizar una revisión del Lean Manufacturing, la Industria 4.0 y su confluencia en el denominado Lean 4.0. Posteriormente se presentan los dos abordajes a la seguridad y salud haciendo uso de la digitalización y, por último, en el apartado de conclusiones se recoge un conjunto de reflexiones procedentes del estudio realizado.

## 1.4 Resultados

El Lean Manufacturing (también conocido como producción ajustada o manufactura esbelta) es un modelo de gestión concebido para Toyota por Taiichi Ohno basado en la reducción a 0 de los siete tipos de desperdicios identificados en los productos manufacturados:

- Sobreproducción: se produce antes de que el cliente demande
- Tiempo de espera
- Transporte: movimientos innecesarios entre una operación y otra
- Exceso de procedimientos: operaciones extra para paliar defectos, por ejemplo
- Inventario: se desperdicia espacio y puede producir la obsolescencia de productos
- Movimientos: tanto de personas como de máquinas
- Defectos

Así mismo, posee una serie de principios clave resumidos como:

- Calidad perfecta a la primera: mediante la detección de los problemas en su origen se persigue obtener 0 defectos en la producción.
- Minimización de las tareas sin valor añadido
- Mejora continua
- Procesos “pull”: los productos se fabrican por la solicitud del cliente
- Flexibilidad: flexibilidad en la producción sin perder eficiencia
- Relaciones duraderas con proveedores: se comparten riesgos, costes e información

Por su parte, la Industria 4.0, Revolución Industrial 4.0 o Smart-Industries es un término que ha tomado fuerza en los últimos años dentro de la industria mediante el cual se hace referencia a un nuevo modelo de organización de la producción basado en el Internet de las cosas, Big Data, los sistemas ciberfísicos y los objetos inteligentes (Gobbo et al., 2018).

Si bien se trata de un concepto de indudable vigencia no caracteriza, aún, a una realidad afianzada, sino más bien a una meta a alcanzar en los próximos años dentro de la evolución de la industria desde el modelo de gestión de Lean Manufacturing. Dicha meta se sustenta en las denominadas smart factories (fábricas inteligentes) donde se persigue una completa digitalización y automatización, propiciando una conexión entre todas las máquinas y sistemas que generen un flujo de información interno y externo (con los mercados, clientes, competidores...) que permita una gestión inteligente de toda la cadena de producción gracias al procesamiento de datos. Los principales beneficios que devienen este nuevo modelo son una mayor flexibilidad y adaptabilidad, consiguiendo una producción completamente personalizada (Pereira & Romero, 2017).

Durante la definición del concepto de “Industria 4.0” se repite de manera continua el término “smart” y, aunque resulte difícil dar una definición precisa, puede asociarse a la idea de dispositivos independientes y autónomos que se comunican en tiempo real y cooperan dentro de un entorno inteligente (smart environment) con otros dispositivos, tomando decisiones y generando acciones basadas en la información obtenida (Pereira & Romero, 2017).

Existen 4 términos especialmente ligados al concepto de Industria 4.0 (Pereira & Romero, 2017):

- **Smart Factory.** Se traduce como “fábrica inteligente” y se aplica a la integración, digitalización y uso de estructuras flexibles y soluciones “inteligentes” generando procesos flexibles y adaptativos a lo largo de toda la cadena de valor que pueden dar respuesta a los requisitos más complejos del mercado.
- **Smart Products.** Los productos inteligentes se integran con la cadena de valor como parte activa gracias al monitoreo de sí mismos y de su ambiente pudiendo controlar el proceso productivo de forma autónoma.
- **Modelos de negocio.** Los ya existentes se ven influenciados por la comunicación característica de la Industria 4.0 y, a su vez, comienzan a surgir otros nuevos que permiten la creación de un ambiente colaborativo.
- **Clientes.** La flexibilidad y adaptación de los procesos productivos permitirá la implementación a tiempo real de los cambios en los requisitos de los clientes en los productos finales.

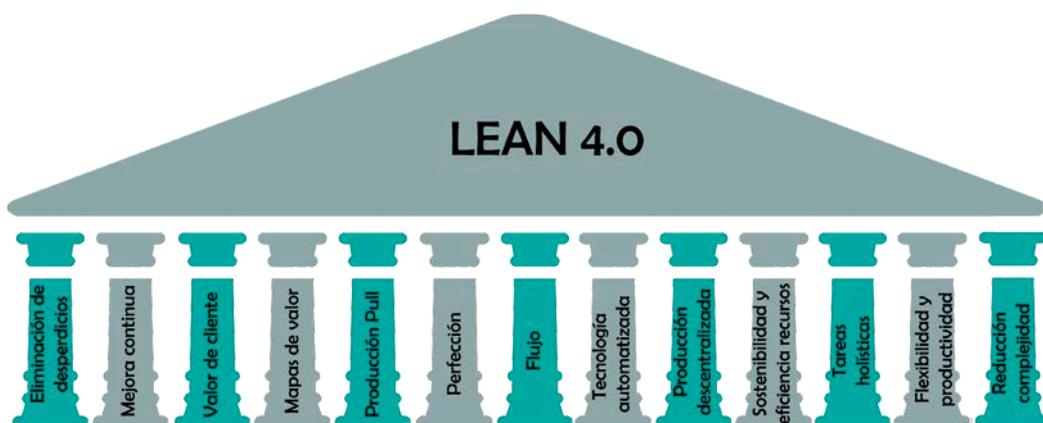
La implementación exitosa de la Industria 4.0 requiere tener en cuenta la situación inicial de cada empresa desde un punto de vista socio-técnico, siendo en las últimas décadas los modelos Lean Manufacturing y Lean Management los imperantes, hecho que sugiere que la

Industria 4.0 deberá integrar las nuevas tecnologías en estos sistemas ya existentes (Wagner, Herrmann & Thiede, 2017).

Si se observa la realidad que rodea a la industria es posible discernir que, hasta ahora, las empresas han empleado los métodos del Lean Manufacturing como métodos por excelencia para aumentar la producción en procesos de valor añadido y optimizar la organización de con el compromiso activo de los empleados. Por su lado, la Industria 4.0 representa una aproximación en la que la eficiencia se consigue a través de la digitalización y la conexión completa entre todos los elementos. Esto no necesariamente ha de representar una dicotomía y es que los seres humanos no han de considerarse prescindibles dado que, incluso con la llegada de la Industria 4.0, seguirán siendo necesarios por sus capacidades para llevar a cabo mejor ciertos procesos y ciertas tomas de decisiones (frente a un CPS) (Prinz, Kreggenfeld & Kuhlentkötter, 2018). Además, estudios actuales apoyan la teoría de que el Lean Manufacturing y la Industria 4.0 pueden coexistir y ayudarse mutuamente teniendo un punto de convergencia en el llamado Lean 4.0 o Lean Industry 4.0. Este pensamiento es sustentado en los pilares y objetivos que ambos modelos comparten (Mayr et al., 2018):

- Eliminación de desperdicios
- Mejora continua
- Valor de cliente
- Mapas de valor
- Filosofía de producción Pull
- Perfección
- Flujo
- Uso de tecnología automatizada
- Producción descentralizada
- Sostenibilidad y eficiencia de los recursos
- Tareas holísticas
- Aumento de la flexibilidad y la productividad
- Reducción de la complejidad

Figura 2: Templo Lean 4.0



Fijado el foco común para los dos enfoques (Lean Manufacturing e Industria 4.0), es posible establecer una conexión favorable entre ellos si se asume que (Prinz, Kreggenfeld & Kuhlenkötter, 2018):

1. La implementación de la digitalización puede reducir la complejidad de los sistemas, lo que dará lugar a procesos más manejables.
2. Una amplia gama de implementaciones de Lean Management debería estar ya llevándose a cabo en los procesos de fabricación para explotar un mayor éxito de las tecnologías de la Industria 4.0.

Así mismo, es necesario reconocer que la mejora en la productividad alcanzada por Lean Manufacturing en los últimos años ha comenzado a saturarse y que la incorporación del enfoque 4.0 puede hacer despegar nuevamente la mejora mediante la digitalización, donde la adquisición de datos a tiempo real que se deriva de ella crea un escenario mejorado para métodos como las cartas o mapas de valor para reconocer rápidamente qué elementos no agregan valor al proceso. No obstante, se ha de reconocer que la contribución que pueda hacer la Industria 4.0 a cada uno de los principios de Lean Manufacturing no será homogénea.

Debido al reciente acuñamiento del término es fácil comprender que aún no haya un consenso en lo referente a las implicaciones y consecuencias de este nuevo paradigma dentro de la fabricación (Pereira & Romero, 2017) y puede radicar en este hecho el que las empresas no sean conscientes aún de los retos que supone la adopción de este método productivo, los riesgos que devienen de su implantación ni las mejoras preventivas que son posibles alcanzar gracias al mismo. Así, en el presente documento se distinguirán dos posibles estrategias de Seguridad y Salud relacionadas con la Industria 4.0:

1. Seguridad y Salud dentro de la Industria convencional empleando los recursos que brinda la digitalización.
2. Seguridad y Salud dentro de la Industria 4.0 (Riesgos Nuevos y Emergentes).

**Figura 3: La Industria 4.0 en la PRL**



La Seguridad y Salud 4.0 sería, por tanto, la expresión de la Industria 4.0 dentro de la Prevención de Riesgos Laborales.

Antes de poder hacer patentes las oportunidades que brinda la Industria 4.0 para conseguir entornos laborales más seguros es conveniente conocer al nuevo actor que entra en escena: el operador 4.0.

La revolución que traen consigo las fábricas del futuro requerirán de un cambio en la relación entre los operadores y las máquinas. La elevada automatización del entorno suele ser causa de preocupación debido a la creencia de que esta vendrá asociada a una deshumanización de las fábricas y a que el ser humano tendrá poca cabida en la producción del mañana. Este concepto de fábricas completamente automatizadas parece más una utopía que una realidad que pueda materializarse.

En la actualidad se defiende una construcción de la Industria 4.0 con un enfoque antropocéntrico en el que haya una simbiosis entre el hombre y la automatización dando lugar a sistemas ciberfísicos humanos (H-CPS) caracterizados por máquinas que permiten aumentar las capacidades y habilidades humanas al producirse una cooperación hombre-máquina donde las máquinas prestan ayuda en el momento y en la medida en la que se requiera (Romero et al., 2016). Esta tendencia, dentro del diseño y la ingeniería, donde se crean sistemas socialmente sostenibles surge mucho antes que la propia Industria 4.0 pudiendo encontrar su auge en la macroergonomía, ámbito de la ergonomía donde se persigue el equilibrio dentro de los sistemas tecno-socio-económicos desechando la tendencia tecnocéntrica que se vio impuesta en anteriores revoluciones industriales.

Los sistemas ciberfísicos humanos (H-CPS) han sido definidos como sistemas diseñados para (Romero et al., 2016) (Longo, Nicoletti & Padovano, 2017):

1. Mejorar las habilidades humanas para interactuar con las máquinas en los mundos físicos y cibernéticos mediante interfaces "inteligentes" hombre-máquina utilizando las técnicas de interacción hombre-computadora diseñadas para adaptarse a las necesidades cognitivas y físicas de los operadores
2. Mejorar las capacidades físicas, sensoriales y cognitivas de las personas, mediante tecnologías mejoradas y enriquecidas (con dispositivos portátiles, por ejemplo)

Se defiende una Automatización Adaptativa (AA) como el medio para optimizar la cooperación hombre-máquina y distribuir de una mejor manera las tareas entre la parte automatizada y las personas que componen una estación de trabajo en un sistema productivo adaptativo y es que, la AA, permite que el ser humano y/o la máquina modifiquen el nivel de automatización al cambiar el control de funciones específicas siempre que se cumplan condiciones predefinidas (Romero et al., 2016).

Como se ha venido tratando en los párrafos anteriores, el operador 4.0 es un operador humano con sus capacidades físicas, sensoriales y/o cognitivas aumentadas gracias a las aportaciones de la tecnología (Longo, Nicoletti & Padovano, 2017). Pero, lejos de teorizar acerca de las ventajas del uso de la tecnología para mejorar al operador, se expondrán dos casos concretos que demostrarán que la tecnología que acompaña a la industria 4.0 es ya una realidad:

- Exoesqueletos (mejora de condiciones físicas). Cabe destacar el uso de exoesqueletos por parte de reputados fabricantes de vehículos (Audi, BMW y Ford, por ejemplo). Esta mejora de las capacidades físicas de los operarios se consigue redistribuyendo el peso a cargar por parte del trabajador.
- Realidad Aumentada (mejora de las capacidades cognitivas). Empresas como Bosch han comenzado a emplear la realidad aumentada entre sus operarios de mantenimiento mediante el uso de tablets que les permiten acceder de forma rápida a los manuales requeridos para las reparaciones, por ejemplo, y creando un asistente virtual que los guía durante el procedimiento.

Tras la inducción al término operador 4.0, es posible remarcar cuáles son los nexos sinérgicos entre la digitalización y la PRL clásica: dispositivos wearables restricciones de seguridad de los CPS y EPI's 4.0.

Los dispositivos wearables, es decir, los dispositivos que se incorporan de alguna manera en el cuerpo de la persona o su indumentaria, son una realidad: desde relojes inteligentes hasta zapatillas con GPS inundan la vida cotidiana. La incorporación de este tipo de tecnología portátil para monitorear las acciones o el entorno al que un trabajador se encuentra expuesto es una de las grandes aportaciones que la Industria 4.0 hace a la Prevención de Riesgos Laborales. Tanto es así que ya existen en el mercado dispositivos con tales fines, por ejemplo, cascos de bomberos que controlan los niveles de oxígeno y la temperatura de exposición y que incorporan un sistema GPS que permite su geolocalización.

En este caso, los beneficios que supone la aplicación de dispositivos inteligentes dentro de la Prevención de Riesgos Laborales provienen de la recopilación en tiempo real de datos, hecho que dota de información sobre el estado de salud y la seguridad del trabajador y permite, así mismo, una mejor toma de decisiones al propio individuo gracias a las distintas funcionalidades de los CPS que componen una fábrica 4.0.

No obstante, no se debe reducir el aporte de la Industria 4.0 al monitoreo de factores relacionados con la higiene industrial, que es la aplicación más directa de la recopilación a tiempo real de información. Otra área de aportación 4.0 es la automatización de los sistemas ciberfísicos: a la hora de implantar los CPS se deberán incluir restricciones de seguridad que reduzcan los riesgos técnicos a niveles tolerables mediante la definición de estándares actualizados que permitan una mejor adaptación a un entorno autónomo e inteligente (Badri, Boudreau-Trudel, & Souissi, 2018). De hecho, existen funcionalidades de los CPS cuyo objetivo está directamente relacionado con la seguridad del operario.

Por ejemplo, se pueden utilizar dispositivos capaces de detectar e informar al operador acerca de comportamientos potencialmente peligrosos y hacer actuar al entorno conforme a estos (parando una máquina, disminuyendo su velocidad, etc.). Así mismo, el uso de wearables como exoesqueletos, gafas de Realidad Aumentada o Realidad Virtual, etc., que contribuyen a la transformación del operador en el operador 4.0 son dispositivos dentro de la rama de la ergonomía que pueden mejorar la PRL y prevenir enfermedades profesionales y accidentes de carácter laboral.

Por último, una nueva generación de EPI's 4.0 es también un horizonte que explorar por la digitalización, no solo para la evaluación de riesgos laborales en tiempo real y la gestión de medidas, sino también para el propio mantenimiento de los EPI's. En un entorno altamente conectado, los EPI's pueden ofrecer información de su propio estado (desgaste, anomalías, etc.) y permitir automatizar su compra o reparación.

Si bien, hasta el momento, se ha planteado un futuro favorable en la temática de la PRL en conjunción con la Industria 4.0, cabe destacar que el hecho de disponer de más datos no supone una relación directa con la mejora en la seguridad, para ello es necesario discriminar qué datos serán relevantes y esto solo se conseguirá mediante un análisis de riesgos preciso.

Se hace evidente que, con la ayuda de la digitalización, los costes y los riesgos asociados a errores o deslices se pueden ver reducidos gracias a una mejor gestión de la información, a simulaciones más precisas, etc. Estas mejoras en equipamiento, monitoreo y gestión del entorno, aunque de forma individual puedan suponer una apreciable mejora en la seguridad y salud de los trabajadores no implicarán un aumento de la calidad del trabajo si no se estudian los riesgos que presenta por sí mismo el cambio radical en la organización de la implementación de la digitalización (Badri, Boudreau-Trudel, & Souissi, 2018).

El segundo abordaje de la Seguridad y Salud dentro de la Industria 4.0 es a través de los Riesgos Nuevos y Emergentes (RNE). En la implementación del modelo de la Industria 4.0 con verdadero éxito es responsabilidad de la Ciencia estudiar cuáles son sus características más dañinas, sobre todo, en términos de la relación con el ser humano dado que este nuevo paradigma implicará cambios no solo en los puestos de trabajo requeridos o su gestión, sino también en las habilidades exigidas a aquellos que los desempeñen.

En la literatura se reconocen como los principales RNE provenientes de la digitalización los siguientes:

- Riesgos psicosociales.
- Interacción hombre-máquina: interfaces.
- Definición de los sistemas CPS.
- Riesgos químicos: nanopartículas (NP) y partículas ultrafinas (PUF).
- Riesgos físicos: radiaciones.
- Tratamiento de la información.

**Figura 4: Riesgos Nuevos y Emergentes (RNE)**



Los sistemas de producción de la Industria 4.0 están en un aumento constante en lo referente a la complejidad y, para poder trabajar de manera efectiva en el modelo de la Industria 4.0, los trabajadores tendrán que adquirir una amplia gama de habilidades, teniendo que combinar la experiencia convencional asociada a sus tareas con habilidades informáticas. El riesgo psicosocial es palpable si se está en presencia de una fuerza de trabajo que envejece y que no tiene, al menos, una formación académica mínima: en general se requerirá que los trabajadores estén más motivados y abiertos al cambio, que sean más flexibles y acepten una formación continua (Badri, Boudreau-Trudel, & Souissi, 2018). Es precisamente en este punto, en el que se determina que los operarios han de verse comprometidos con la organización y motivados a mejorar continuamente para gestionar una implantación (y sobre todo una transición) exitosa, donde se desarrollan nuevas formas de coaching como puede ser el Neurocoaching, el Coaching empresarial, etc.

Cabe añadir que si bien la digitalización y el empleo de CPPS abogan por una automatización adaptativa que debería reducir las tareas sin valor asociado que desempeñe

la población laboral, lo cierto es que esto requiere de una mayor flexibilidad cognitiva por parte de los operarios dado que sus puestos serán más polivalentes, factor que puede dar lugar a una percepción de mayor carga (mental) de trabajo.

Por último, dentro de los riesgos psicosociales debe contemplarse el envejecimiento de la mano de obra. Aunque no se trate de un factor de riesgo proveniente propiamente de la Industria 4.0, sino más bien de los cambios socio-económicos que se presentan en el presente y el futuro, es posible hacerle frente con nuevas técnicas ligadas a la digitalización.

Es conocido que las capacidades físicas y cognitivas se van degenerando conforme la edad aumenta, de hecho, dentro del diseño para poblaciones especiales se contempla el diseño de objetos teniendo presente la destreza de las personas mayores para las cuales se reconoce que existe una pérdida de habilidades psicomotrices, ejecutan procesos cognitivos más lentos, presentan una disminución de la resistencia y fuerza física, etc.

Una vez tratados los riesgos más evidentes asociados a cualquier cambio de tales dimensiones, es relevante contemplar otro de los problemas de mayor alcance cuando se trabaja con tecnología: las interfaces e interacciones hombre-máquina. Si bien estos riesgos son tratados en la actualidad, el nuevo matiz que se añade en esta problemática proviene de las tareas en las que interaccionan robots (máquinas “inteligentes”) y humanos, que hace que el abanico de riesgos sea mucho más impredecible que los tratados convencionalmente (Badri, Boudreau-Trudel, & Souissi, 2018), haciéndose patente, una vez más, que la implantación de la Industria 4.0 no eximirá de la realización de las evaluaciones de riesgos, las cuales, además, serán más complejas (debido a la complejidad intrínseca de los sistemas).

Para gestionar mejor las interacciones humano-ordenador será necesario abordar la creación de interfaces con gran detalle, empleando técnicas como la EEG y el eye-tracking para validar su implementación y determinar el impacto sobre la percepción de la carga mental, surgiendo aquí un nuevo campo de investigación íntimamente ligado a la PRL en la Industria 4.0: la Neurociencia aplicada a la seguridad.

Un ejemplo de una interfaz hombre-máquina para la cual no se han evaluado aún de manera concienzuda sus ventajas y desventajas es el denominado voice picking o picking por voz, un módulo dentro de los sistemas de gestión de almacén (SGA) que guía a los operarios en el proceso de preparación de pedidos. Si bien es cierto que libera las manos del operario, pudiendo realizar una conducción más segura o una manipulación manual de cargas más óptima, el número de señales acústicas que deben ser interpretadas por parte del operario aumenta (en tipo y cantidad), requiriendo de una mayor atención para la discriminación de las mismas.

Hasta el momento se han tratado los riesgos psicosociales y los riesgos físicos provenientes de la compleja interacción hombre-máquina, pero siempre desde el punto de vista de la operación. Es fácil caer en la falacia del error humano en la operación como único error posible y, por tanto, único generador de riesgo. Para evitar esto se debe tener presente en todo momento que los sistemas automatizados que controlan muchos de los procesos en las industrias actuales (y todos en las industrias constituidas bajo el paradigma de la cuarta revolución) son diseñados e implantados por personas, es decir, el error puede ser humano y provenir de la concepción o la implantación, no solo de la operación. En la literatura se han recogido numerosos ejemplos de errores de diseño que degeneran en accidentes o incidentes industriales, de mayor o menor calibre, pudiendo resumir los principales problemas como sigue (Hendershot, 2006):

- Falta de análisis en detalle de los requerimientos para el control computacional.
- Se requiere de entrenamiento no solo en el uso de las nuevas tecnologías que están asociadas a la automatización, sino también en el entendimiento de la operación de la

planta dado que esta no podrá ser conocida en la ejecución normal del trabajo por quedar oculta tras la automatización.

- Los errores humanos pueden ocurrir durante la construcción, el mantenimiento o la operación. La lucha contra este tipo de errores se sustenta en la inspección del programa para asegurar que la planta se ha construido como se pretendía.

Por último, cabe destacar que la principal ventaja de la Industria 4.0 se define como la interconexión de los elementos que conforman el sistema global, desde el cliente hasta los proveedores, pasando por el proceso productivo. Dentro de estos sistemas tan complejos se propone incluso la posibilidad de compartir información sobre las características de los empleados de forma que el sistema pueda adaptarse a las necesidades de estos dentro de su desarrollo como sistema colaborativo y no como exclusivo sistema tecnológico.

Puede observarse que la gestión de información de tan diversa índole (desde la temperatura a la que se trabaja en una determinada área, hasta las necesidades detectadas en el mercado o el estado de salud de los empleados que desempeñan las tareas) debe tratarse con especial recelo, puesto que algunos de los parámetros recolectados son categorizados como información personal o “highly restricted information”. De forma paralela a la incorporación de la Industria 4.0, en cualquier grado, ha de acompañarle un robusto desarrollo en ciberseguridad, dado que, si bien la interconexión e interpretación de la información son los pilares clave de la cuarta revolución, es precisamente esta interconexión la que aumenta la vulnerabilidad para la organización.

## 1.5 Conclusiones

1. El modelo de gestión conocido como Lean Manufacturing requiere de una actualización para superar la saturación de sus aportaciones a la industria y la Industria 4.0, con su principal aporte de interconexión, puede ser el factor necesario para conseguirlo.
2. El mayor dilema a la hora de plasmar un escenario conjunto entre el modelo Lean Manufacturing y la Industria 4.0 se presenta al tratar de incorporar complejas soluciones IT para reducir los 7 desperdicios manteniendo el principio de simplicidad.
3. El paradigma de la Industria 4.0 afecta directamente a la mano de obra, por lo que en su inclusión se ha de tener en cuenta los riesgos en la seguridad y salud asociados.
4. Las piezas clave dentro de la Industria 4.0 son la digitalización y la interconexión, ambos con ventajas y desventajas:
  - Ventajas: creación de sistemas más flexibles, mejora de la calidad, intervención antes de que el defecto se produzca, disminución de tareas penosas y peligrosas, etc.
  - Desventajas: distinción entre datos e información, tratamiento de la información, mano de obra muy especializada, etc.
5. La PRL se puede nutrir de los agentes de la Industria 4.0 para sus funciones: disminución de riesgos, evaluación de riesgos, formación y entrenamiento, etc., configurando una PRL digitalizada, la cual puede ser denominada PRL 4.0.
6. Los beneficios de la inclusión de la digitalización en la PRL vienen dados por la posibilidad de crear configuraciones de entornos con autogestión de riesgos, por los smart EPI's y por el tratamiento de datos en tiempo real.
7. El riesgo más acusado dentro de la Industria 4.0 y que debe ser estudiado y tratado por la PRL es el riesgo psicosocial, debido al aumento de la exposición a carga mental, principalmente, de los trabajadores que desempeñan sus roles dentro de este paradigma.

8. La Ciencia está siguiendo un enfoque pull en el desarrollo de una sinergia entre la PRL y la digitalización: trabaja a marchas forzadas para dar respuesta a la motivación y realidad industrial que pretende implementar entornos digitales en la mayor parte de los ámbitos productivos.

## 2. Referencias

- Arias, W. L. (2012, Julio 7). Revisión histórica de la salud ocupacional y la seguridad industrial. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 13, 45-52.
- Badri, A., Boudreau-Trudel, B. & Souissi, A. S. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern?. *Safety Science*, 109, 403–411.
- García, G. (2007). *Orígenes y fundamentos de la prevención de riesgos laborales en España (1873-1907)*. Tesis doctoral no publicada, Universitat autònoma de Barcelona, Bellaterra, España.
- Gobbo, J.A., Busso, C. M, Gobbo, S. C. & Carreão, H. (2018). Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 372–382.
- Hendershot, D. C. (2006). Lessons from human error incidents in process plants. *Process Safety & Environmental Protection*, 84, 174–178.
- Longo, F., Nicoletti, L. & Padovano, A. (2017). Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 144–159.
- Mayr, A., Weigelt, M., Kühn, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M. & Franke, J. (2018). Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 72, 622–628.
- Molina, J. A. (2006). *Historia de la seguridad en el trabajo en España*. Valladolid: Junta de Castilla y León, Dirección General de Trabajo y Prevención de Riesgos Laborales.
- Pereira, A. C. & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214.
- Prinz, C., Kreggenfeld, N. & Kuhlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing*, 23, 21–26.
- Romero, D., Bernus, P., Noran, O., Stahre, J. & Fast-Berglund, Å. (2016). The operator 4.0: human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. En I. Nääs, O. Vendrametto, J. Mendes, R. Franco, M. Terra, G. von Cieminski & D. Kiritsis (Ed.) *Advances in Production Management Systems. Initiatives for a Sustainable World* (pp. 677-686). Iguassu Falls: Springer. doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7\_10
- Sánchez, E. (2001). Treinta años de Historia. *Sección Técnica*, 12, 12-16.
- Wagner, T., Herrmann, C. & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP*, 63, 125–131.