

# LA PRL Y LA DIGITALIZACIÓN DE LA INDUSTRIA

**Montoro, Estela M.\*; Aguayo, Francisco; Ávila, M. Jesús; Martín, Alejandro  
Manuel**

*Sistemas Inteligentes y Desarrollo de Productos (TEP 022).  
Ingeniería del Diseño. EPS de Sevilla. Universidad de Sevilla.*

\*E-mail: [estmonosu@alum.us.es](mailto:estmonosu@alum.us.es)

## RESUMEN

La llegada de la 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 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.

## PALABRAS CLAVE

Industria 4.0, Digitalización, Automatización, Operario 4.0, Riesgos nuevos y emergentes, Neurociencia.

## **ABSTRACT**

The advent of Fourth Revolution or Digitization is already a reality. Companies follow the optimization of their resources adding to traditional tools, like Lean Manufacturing, the benefits from the interconnexion of all the parts that conform productive systems. This interconnexion and the autonomous work of machines eradicate classic labour accidents risks or, at least, reduce them, but also create new ones that worry Operator 4.0. However, in the same way this new paradigm contributes to create some new risks, it can offer new ways for dealing with them.

## **KEYWORDS**

Industry 4.0, Digitization, Automation, Operator 4.0, New and emerging risks, Neuroscience.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La Cuarta Revolución Industrial está entre nosotros. Actualmente se pueden encontrar a lo largo de las líneas de producción diversos ejemplos de ello: monitorización en tiempo real del funcionamiento de las máquinas, cooperación máquina-operario, carretillas autónomas, etc. No obstante, el modelo productivo que aún impera es el denominado Lean Manufacturing gracias a su optimización de la producción mediante la eliminación los 8 (7+1) desperdicios clásicos: defectos, sobreproducción, esperas, talento sin acción, transporte, inventario, movimientos y retrabajos.

¿Significa esto que las empresas deberán elegir entre la optimización mediante la digitalización u otra mediante flujos ajustados? No. A lo largo de este artículo se exponen 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 emerjan nuevos riesgos asociados. Es por ello que también se abordará desde una nueva perspectiva, la de la neurociencia, cómo evaluar, evitar y reducir tanto los riesgos clásicos como los RNE en las fábricas del mañana, 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 un verdadero sistema preventivo.

### Lean Manufacturing

La 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, tiempo de espera, transporte, exceso de procedimientos, inventario, movimientos y defectos. Así mismo, posee una serie de principios clave: 1) Calidad perfecta a la primera; 2) Minimización de las tareas sin valor añadido; 3) Mejora continua; 4) Procesos “pull”; 5) Flexibilidad y 6) Relaciones duraderas con proveedores.

### Industria 4.0

A lo largo de la historia se han producido una serie de hitos que han permitido clasificar la evolución de la técnica, la economía y la sociedad.

**1ª Revolución Industrial.** Proceso de transformación económica, social y tecnológica iniciado en la 2ª mitad del siglo XVIII en Gran Bretaña donde el uso de la máquina a vapor desbancó el trabajo manual y la tracción animal como fuerza de trabajo para la fabricación industrial y el transporte.

**2ª Revolución Industrial.** Transformaciones socioeconómicas entre los años 1870 y 1914 donde destacan el uso de nuevas fuentes de energía (gas, petróleo y electricidad), así como la inclusión de nuevos materiales, medios de transporte (avión y automóvil) y sistemas de comunicación (teléfono y radio). La producción masiva y la invención del motor de combustión interna son los grandes representantes de este periodo.

**3ª Revolución Industrial.** Designa un periodo de avance en la tecnología de la comunicación, el uso de Internet y el desarrollo de las energías renovables en ámbitos variados. La automatización y la invención del circuito integrado son, también, hitos de esta etapa del siglo XX [1].

A pesar de la patente juventud del término “3ª Revolución Industrial”, en los últimos años han tomado fuerza nuevos conceptos como Industria 4.0, Revolución Industrial 4.0 o Smart-Industries, los cuales hacen referencia a un nuevo modelo de organización de la producción basado en el Internet de las cosas, Big Data, sistemas ciberfísicos y objetos inteligentes [2]. Si bien se trata de un concepto de indudable vigencia es preciso señalar que caracteriza a una meta a alcanzar dentro de la industria. Dicha meta se sustenta en las denominadas smart factories donde se persigue una completa digitalización y automatización, propiciando la conexión entre todas las máquinas y sistemas y generando un flujo de información interno y externo que permita la gestión inteligente de toda la cadena de producción gracias al procesamiento de datos, con la consecuente flexibilidad y adaptabilidad que desembocan en una producción completamente personalizada [1].

Debido al reciente acuñamiento del término aún no hay un consenso en lo referente a las implicaciones y consecuencias de este nuevo paradigma [1] y puede radicar en esto el hecho de que las empresas no sean conscientes de los retos y riesgos que devienen de su implantación, dando cabida al presente estudio, el cual trata de determinar los principales riesgos a afrontar en un ámbito productivo marcado por la digitalización y la automatización dentro de una sociedad con manifiesta tecnofobia debido a transiciones no exitosas entre modelos más tradicionales y otros altamente tecnificados.

## Lean 4.0

Los estudios actuales apoyan la teoría de que Lean Manufacturing y la Industria 4.0 pueden coexistir y ayudarse mutuamente dando lugar al llamado Lean 4.0 o Lean Industry 4.0. Este pensamiento se basa en que ambos modelos comparten pilares y objetivos [3]: 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 y reducción de la complejidad. Así mismo, una revisión de la situación actual, donde imperan Lean Manufacturing y Lean Management sugiere que la Industria 4.0 deberá integrar las nuevas tecnologías en estos sistemas ya existentes [4] y es que, hasta ahora, las empresas empleaban los métodos del Lean Manufacturing para aumentar la producción en procesos de valor añadido y optimizar la organización de manera que se conseguía el compromiso activo de los empleados, mientras que la I4.0 representa una aproximación en la que la eficiencia se consigue a través de la digitalización y la conexión completa entre todos los elementos. Lejos de representar una dicotomía ambas aproximaciones tienen cabida en un entorno único dado que los seres humanos no han de considerarse prescindibles en la I4.0, seguirán siendo necesarios por sus capacidades para llevar a cabo mejor que los CPS ciertos procesos y tomas de decisiones [5]. Así, fijado el foco común, es posible establecer una conexión favorable si se asume que [5]:

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

Para concluir, es necesario reseñar que en los últimos años la mejora de la productividad alcanzada por Lean Manufacturing comienza a verse saturada y la incorporación del nuevo enfoque 4.0 puede hacer despegar la mejora mediante la digitalización. No obstante, se ha de reconocer que la contribución 4.0 a cada uno de los principios de Lean Manufacturing no será homogénea y que, tras un análisis de la aproximación a la producción sugerida por Lean Manufacturing y la I 4.0, el mayor dilema a la hora de plasmar un escenario conjunto se presenta al tratar de incorporar complejas soluciones IT que conecten máquinas, personas y procesos manteniendo los principios de la producción esbelta: evitar el desperdicio proveniente de las actividades que no añaden valor y mantener los procesos y equipos simples, fáciles de usar y fáciles de mantener [6].

## METODOLOGÍA

La metodología seguida para abordar la relación entre la digitalización y la PRL ha consistido en analizar los principales riesgos. Para ello, es preciso hacer distinción previa entre dos puntos de vista acerca del concepto de Prevención 4.0: 1) Seguridad y Salud 4.0 dentro de la Industria convencional y 2) Seguridad y Salud dentro de la Industria 4.0 (RNE)

Una vez identificados los riesgos más representativos de cada aproximación, se proponen una serie de intervenciones en el apartado Resultados y Discusión y se presentan las conclusiones.

### Seguridad y Salud 4.0 dentro de la Industria convencional

Sin ser exhaustivos, los riesgos asociados a la Industria convencional pueden clasificarse como:

- Riesgos físicos: ruido, iluminación, confort térmico, caídas, radiaciones, vibraciones, riesgos mecánicos y eléctricos, etc.
- Riesgos químicos y biológicos. Los primeros derivan del trabajo con agentes químicos o debido a los contaminantes que se generan durante la producción, mientras que los segundos derivan de agentes vivos.
- Fatiga física: riesgos por posición, desplazamiento, esfuerzo y manejo de cargas.
- Riesgos por utilización de pantallas de visualización de datos. Además de los problemas musculoesqueléticos se debe tener en cuenta la fatiga mental.
- Riesgos psicosociales. Engloba el estrés y la carga mental de trabajo (sobreesfuerzos mentales o infracarga de trabajo).
- Seguridad industrial. Incendios, explosiones, etc.

### Seguridad y Salud dentro de la Industria 4.0 (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 en los puestos de trabajo requeridos, su gestión y en las habilidades exigidas. Así pues, en la literatura se conocen como Riesgos Nuevos y Emergentes (RNE) a aquellos que cumplen las siguientes condiciones [7]:

- **Condición 1:** el riesgo no existía anteriormente y está causado por nuevos procesos, nuevas tecnologías, nuevos tipos de lugar de trabajo o por cambios sociales u organizativos.
- **Condición 2:** se trata de un problema persistente que pasa a considerarse como un riesgo debido a un cambio en las percepciones sociales o públicas.
- **Condición 3:** un nuevo conocimiento científico da lugar a que una cuestión no novedosa se identifique como riesgo.
- **Condición 4:** aumenta el nº de peligros que dan lugar al riesgo.
- **Condición 5:** la probabilidad de exposición al peligro que da lugar al riesgo aumenta (nivel de exposición y nº de personas expuestas).
- **Condición 6:** el efecto del peligro sobre la salud de los trabajadores empeora (gravedad de los efectos sobre la salud y nº de personas afectadas).

Dentro de la problemática del diseño y la operación de nuevos sistemas se articulan diversos estudios para generar una toma de decisiones acertada a la hora de evaluar y cuantificar los riesgos asociados a la automatización industrial y el control informático donde los principales problemas devienen de los factores humanos [8]. Se pueden enumerar como principales RNE los siguientes:

- Riesgos psicosociales. Proviene de los requisitos de una interacción cada vez mayor entre el contenido del trabajo, la organización, la gestión y otros factores organizacionales [9].
- Carga mental de trabajo y estrés. Si bien la digitalización y el empleo de CPPS abogan por una automatización adaptativa que ha de reducir las tareas sin valor asociado, lo cierto es que se requiere de mayor flexibilidad cognitiva debido a la polivalencia de los puestos.
- Envejecimiento de la mano de obra. Se trata de un factor procedente de los cambios socioeconómicos que se viven actualmente.
- Interacción hombre-máquina: interfaces. Se añade un nuevo matiz a esta problemática procedente de la interacción entre máquinas “inteligentes” y humanos (el abanico de riesgos es menos predecible) [9].
- Definición de los sistemas CPS. Los principales errores de diseño que degeneran en accidentes se pueden resumir como: 1) falta de análisis en detalle de los requisitos, 2) falta de entrenamiento para el entendimiento de

la operación de la planta que queda oculta tras la automatización y 3) falta de conciencia sobre el origen del error humano (durante la construcción, mantenimiento u operación) [10].

- Riesgos químicos. Nanopartículas (NP) y partículas ultrafinas (PUF). Este tipo de partículas entraña dos posibles riesgos diferentes [11]: incendio o explosión y toxicidad.
- Riesgos físicos. Las radiaciones, principalmente, debido al aumento del uso del láser, el haz de electrones, etc. entrañan un creciente riesgo.
- Tratamiento de la información. La gran ventaja de la I 4.0 reside en la interconexión de los elementos que conforman el sistema global. La gestión de la información obtenida deberá tratarse con especial recelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las posibilidades que brinda la tecnología varían mucho de un riesgo a otro, no obstante, los elementos wearables, pertenecientes a un CPS/CPPS, que permitan una medición continua y a tiempo real son los principales exponentes. Otros ejemplos plausibles son los siguientes:

- Restricción del acceso a determinadas zonas (por falta de formación, por el propio riesgo...) o reducción del nivel de ejecución de la maquinaria mediante AA del entorno en presencia de trabajadores.
- Creación de un histórico que relacione los eventos indeseados (averías o accidentes) con las condiciones del entorno.
- Smart EPI's que gestionen su mantenimiento (envíen señales de compra o reparación, etc.) e incluso el tipo de filtro activo según el entorno.
- Exoesqueletos, para reducir la carga postural, y elementos que recopilen información para una mejor valoración de la adecuación del puesto de trabajo (según consumo de O<sub>2</sub>, frecuencia cardíaca o higiene postural), así como evaluación continua de la carga de trabajo mental con el uso de EEG o técnicas como eye-tracking.
- Formación/training en ambientes seguros empleando técnicas de RV y monitoreo de eventos para situaciones de alta demanda cognitiva.
- Autogestión de los CPPS de situaciones de emergencia para evitar propagación



de un incendio, restringir el acceso a zonas peligrosas...

Una cuestión adicional será tomar conciencia de la necesidad de combinar la experiencia convencional con habilidades informáticas dentro del paradigma de la I4.0. El riesgo psicosocial es palpable y se requerirá de trabajadores motivados y abiertos al cambio, flexibles y que acepten una formación continua [9]. Es en este punto donde se desarrollan nuevas formas de coaching como puede ser el Neurocoaching, el Coaching empresarial, etc.

Las nuevas tecnologías, también, pueden ayudar a la superación de riesgos mediante la simulación de situaciones catastróficas en entornos seguros, inculcando respuestas adecuadas y mediante una formación individualizada tras el monitoreo de los procesos cognitivos, mejorando la comunión entre las habilidades humanas y la tecnología (operario 4.0).

Por último, 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.

## **CONCLUSIONES**

La introducción de la digitalización en la Industria (convencional o I4.0) no evitará la evaluación y seguimiento de riesgos. Con la llegada de esta Revolución se podrán eliminar o reducir muchos de los riesgos convencionales, pero también aparecerán otros nuevos (a estudiar antes de exponer a los trabajadores a nuevos entornos). Mediante este artículo se ha perseguido aportar luz sobre los puntos débiles de las nuevas tecnologías en la I4.0. A pesar de este esfuerzo, para determinar los riesgos específicos continuará siendo necesario abordar la implantación de la digitalización en cada caso concreto de estudio, pudiendo variar los riesgos de una organización a otra, aun perteneciendo estas a la misma rama industrial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pereira, A. C. y Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, pp. 1206–1214.
- [2] Gobbo, J. A., Busso, C. M., Gobbo, S. C. O., y Carreño, H. (2018). Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, pp. 372–382.
- [3] Mayr, A., Weigelt, M., Kühn, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., y Franke, J. (2018). Lean 4.0-A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 72, pp. 622–628.
- [4] Wagner, T., Herrmann, C., y Thiede, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP*, 63, pp. 125–131.
- [5] Prinz, C., Kreggenfeld, N., y Kuhlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing*, 23, pp. 21–26.
- [6] Gómez, M. Á. (2017). Entrenando comportamientos, mejorando cultura preventiva. *Prevencionar*, p. 25.
- [7] Brocal, F. (2014). Metodología para la identificación de Riesgos Laborales Nuevos y Emergentes en los procesos avanzados de fabricación industrial. UNED.
- [8] Gobbo, J. A., Busso, C. M., Gobbo, S. C. O., y Carreño, H. (2018). Making the links among environmental protection, process safety, and industry 4.0. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, pp. 372–382.
- [9] Badri, A., Boudreau-Trudel, B., y Souissi, A. S. (2018). Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? *Safety Science*, 109, pp. 403–411.
- [10] Hendershot, D. C. (2006). Lessons from human error incidents in process plants. *Process Safety and Environmental Protection*, 84(3B), pp. 174–178.
- [11] Brocal, F. (2012). Riesgos laborales nuevos y emergentes en los procesos de fabricación. *Técnica Industrial*, pp. 1–4.