

P15

## OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN ENTORNOS DE TRABAJO CONECTADOS E INTELIGENTES. APLICACIÓN A LA CONSTRUCCIÓN 4.0

Méndez Puig, Daniel; Peralta Álvarez, M. Estela; Aguayo González, Francisco.

Grupo de investigación TEP 022 Área de Proyectos de Ingeniería. Departamento de Ingeniería del Diseño. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.

### RESUMEN

Los programas de Horizonte 2020 y el conjunto de líneas de investigación propuestas internacionalmente relacionadas con la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0, reflejan el interés y necesidad de ampliar el alcance de la gestión de los riesgos ocupacionales en los sistemas productivos desde el punto de vista de la digitalización y automatización para asegurar la protección integral del trabajador.

Partiendo de esta situación, y teniendo en cuenta el auge que en los últimos años está teniendo la Industria 4.0 a través del inicio de la Cuarta Revolución Industrial en todos los sectores de actividad, habría que plantearse (1) cuáles son los facilitadores tecnológicos y digitales más idóneos para alcanzar la automatización y digitalización fomentada para el alcance de los sistemas de construcción inteligentes (Construcción 4.0), (2) cómo conseguir una integración eficiente entre tecnología y trabajador (productos inteligentes, wearables) y (3) la forma de configurar dicha integración, como solución al rápido aumento de la incorporación de nuevas tecnologías, sistemas TIC y digitalización.

En este contexto se desarrolla el presente artículo: teniendo en cuenta que el diseño actual de los dispositivos inteligentes aún no está adaptado a entornos ocupacionales y considerando los nuevos retos para la construcción 4.0.

**Palabras clave:** *Industria 4.0; Construcción 4.0; Riesgos emergentes/nuevos; empoderamiento del factor humano; facilitadores tecnológicos y digitales emergentes.*

### ABSTRACT

The Horizon 2020 programs and the set of internationally proposed research lines related to the Fourth Industrial Revolution or Industry 4.0 reflect the interest and need to broaden the scope of the management of occupational risks in the production systems from the point of view of digitization and automation to ensure the full protection of the worker.

Starting from this situation, and taking into account the boom that Industry 4.0 is having in recent years through the start of the Fourth Industrial Revolution in all sectors of activity, we should consider (1) what the technological and digital facilitators are best suited to achieve the automation and digitalization promoted for the scope of intelligent construction systems (Construction 4.0), (2) how to achieve an efficient integration between technology and worker (intelligent products, wearables) and (3) how to configure such integration, as a solution to the rapid increase in the incorporation of new technologies, ICT systems and digitalisation.

In this context the present article is developed: bearing in mind that the current design of intelligent devices is not yet adapted to occupational environments and considering the new challenges for construction 4.0.

**Keywords:** *Industry 4.0; Construction 4.0; Emerging / new risks; empowerment of the human factor; technological and digital emerging facilitators.*

## INTRODUCCIÓN

La industria 4.0 ofrece grandes oportunidades en el ámbito de la prevención de riesgos laborales que pueden ser introducidos en los entornos de la construcción 4.0; existen multitud de posibilidades a la hora de aplicar medidas de prevención empleando facilitadores digitales, tecnológicos y dispositivos inteligentes: códigos QR, localización de riesgos por zonas, recogida y notificación de incidencias o emergencias en campo, notificaciones de emergencia o alertas instantáneas, evaluación de riesgos in situ o auditoria, uniformes inteligentes, etc. Los dispositivos inteligentes suponen una mejora de las condiciones de trabajo convirtiéndose en facilitadores, reduciendo la carga de trabajo, proporcionando información de utilidad, automatizando tareas, avisando de incidencias, etc.

Pero será necesario encontrar la manera más adecuada de llevar a cabo el diseño y organización del trabajo; la construcción 4.0 (inteligente) transforma el contenido, los procesos y el ambiente ocupacional, situación que requiere nuevos modelos para la concepción, implantación y explotación de los entornos ocupacionales inteligentes que además de alcanzar los objetivos que pretende la Industria 4.0, potencien la calidad de vida y el bienestar individual y colectivo de los trabajadores mediante la tecnología.

### *Objetivos*

El objetivo general de éste artículo se divide en tres: (1) determinar, cómo a raíz de la denominada 4ª revolución industrial o Industria 4.0 han aparecido una serie de facilitadores técnicos/digitales que actúan en las fases de gestión, de proyectos y de ejecución, que pueden ser empleados en la construcción 4.0, (2) analizar cómo ésta adaptación de la construcción puede influir positivamente en la gestión de los riesgos tradicionales/convencionales y por otra parte, cómo la introducción de nuevas tecnologías (fac.dig/tec) desconocidas y no explotadas en la actualidad, pueden provocar riesgos nuevos/emergentes; y (3) analizar cómo los nuevos enfoques de industria 4.0 trasladados y adaptados a la PRL, son una oportunidad para la mejora de los procedimientos ligados a la misma en los entornos de construcción.

## REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN 4.0

Para analizar la situación actual en PRL y más concretamente en el sector de la construcción vamos a proceder al análisis del (1) marco normativo legal. (2) Se determinarán los riesgos más habituales presentes en construcción y los nuevos riesgos o riesgos emergentes. (3) Evaluaremos la evolución en I+D+i enfocada a PRL. Finalizando con (4) las nuevas metodologías que están apareciendo.

### *Marco normativo legal*

Al realizar una búsqueda exhaustiva de la normativa aplicable en España sobre PRL, se observa que existe normativa específica para construcción (ej. REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción) de obligado cumplimiento, normativa general (ej. LEY 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (Disposición adicional 14ª) que deberá ser aplicada supletoriamente en caso de que no esté regulado algún aspecto en la normativa específica y normativa para edificación y obra civil (ej. REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación) en la que se especifica medidas de seguridad a implantar en obras civiles de gran envergadura como pueden ser la construcción de túneles, puentes, presas, etc.

### *Riesgos convencionales y riesgos “nuevos” o emergentes*

Para analizar los tipos de riesgos existentes en construcción, se clasificarán los mismos en dos grupos: (1) riesgos convencionales, entendidos como los riesgos laborales presentes en el entorno o lugar de trabajo susceptibles de originar accidentes o cualquier tipo de siniestros que puedan provocar algún daño o problema

de salud tanto físico como psicológico. Y (2) riesgos nuevos y emergentes, entendidos como aquellos que no existían antes de introducir las nuevas tecnologías de información en los sistemas constructivos.

Tradicionalmente, los principales riesgos presentes en construcción según indican I.A.Papazoglou et al.; O.N.Aneziris et al.; N.Jaffar et al.; F. Henao Robledo; y Katarzyna Misiurek et al. en [1]–[5] divididos por categoría son:

- Riesgos de Seguridad y Salud: Entendiéndose como tales los riesgos derivados de la actividad realizada en el puesto de trabajo. (Ej. Caídas mismo/distinto nivel, riesgo eléctrico, golpes, cortes, etc.).
- Riesgos Higiénicos: Serán los riesgos presentes por la exposición medioambiental a agentes físicos, químicos o biológicos. (Ej. Inhalación de sustancias tóxicas, ruido, vibraciones, etc.).
- Riesgos Ergonómicos: Contemplan los riesgos presentes por factores biomecánicos y por factores psicosociales. (Ej. Sobreesfuerzos, movimientos repetitivos, etc.).

Con la aparición de la Industria 4.0 surgen una serie de facilitadores técnico/digitales que pueden ser empleados en construcción para mejorar la seguridad, como por ejemplo la realidad aumentada propuesta por DušanTatić et al. en [6] empleando un sistema que se implementa en dispositivos móviles con la intención de proyectar instrucciones de realidad aumentada directamente en el lugar de trabajo. Es lógico pensar, que al introducir nuevas tecnologías, modificando los procesos industriales y constructivos actuales, pueden surgir “nuevos” riesgos o riesgos emergentes en la Industria 4.0 y en Construcción 4.0 que tradicionalmente no estaban presentes. F. Brocal Fernández et al. en [7], [8] define un riesgo como “nuevo” cuando dicho riesgo no existía previamente y es causado por nuevos procesos, nuevas tecnologías, etc., o porque se ha producido un cambio en las percepciones sociales, o los avances científicos permiten identificar un problema como un riesgo.

La introducción de tecnologías como internet de las cosas (IoT), procesamiento en la nube, visión artificial, realidad virtual, simulación y virtualización productiva, fabricación aditiva, etc. están produciendo un cambio en el modelo industrial, que repercute directamente en los trabajadores. Se está aumentando la fragmentación de los tiempos de trabajos, el aislamiento, la exclusión y se exige mayor flexibilidad de los puestos de trabajo. Como resultado pueden aparecer nuevos riesgos psicosociales como, estrés crónico, tecnoestrés, inseguridad laboral, etc. tal como indica José María León Rubio [9]. X. Domínguez et al. [10] habla del empleo de nuevos procesos productivos como la fabricación aditiva, existiendo riesgos químicos derivados de las resinas volátiles que se utilizan en la fabricación aditiva de componentes con polímeros, los aditivos volátiles metálicos y no metálicos en polvos metálicos, etc. existiendo pocos estudios desde el punto de vista de seguridad y salud.

La elaboración del artículo se enmarcará en éste contexto, analizando cómo está afectando la incorporación de nuevos facilitadores técnico/digitales en la industria de la construcción, mejorando la prevención existente y que riesgos emergentes se están produciendo por dicha incorporación.

### *I+D+i en PRL*

La Ley de Prevención supuso un impulso que permitió avanzar en la implantación de una política preventiva en las empresas. España se ha dotado de un marco homologable en esta materia a la política común de seguridad y salud en el trabajo de la Unión Europea y a las políticas desarrolladas por sus Estados miembros.

Líneas de investigación actuales:

La programación anual de actividades del Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo (INSSBT) está basada en un análisis de necesidades que utiliza, como fuente, la información disponible tanto a nivel nacional como internacional. Como fruto de dicho análisis, el INSSBT ha elaborado un documento, en el que se recogen las líneas clave de actuación para el período 2018-2020, siendo las siguientes:

**a)** Metodologías de evaluación de riesgos laborales. **b)** “Nuevas formas de trabajo” (incluye Industria 4.0). **c)** Promoción de la salud. **d)** Enfermedades profesionales. **e)** Ergonomía. **f)** Riesgos químicos. **g)** Sectores. **h)** Colectivos.

## Industria 4.0

Con la aparición de la Industria 4.0, la interacción entre el ser humano y la tecnología adquiere mayor importancia, y se emplea una infraestructura de comunicación cada vez más compleja, pudiendo dar lugar a nuevos tipos de riesgos pero también abre nuevas posibilidades para mejorar la prevención de riesgos laborales. La Industria 4.0 está estrechamente relacionado con Internet de las cosas o Internet of Things (IoT), sistemas cyber físicos o Cyber Physical System (CPS) y con la tecnología de la información y las comunicaciones (TIC). La incorporación de (IoT), recopilación de datos y su evaluación en tiempo real como indica Martina Gašová et al. [11] suponen una oportunidad para mejorar la PRL, como por ejemplo, dando lugar a la creación de una aplicación móvil desarrollada por la empresa CEIT en colaboración con la Asociación ergonómica de la Universidad de Zilina y Slovak. La cual sirve para evaluar las condiciones del espacio y las posturas de los trabajadores en los puestos de trabajo potencialmente peligrosos. Se desarrolla en base a la legislación y las normas técnicas, con el apoyo de la realidad virtual y aumentada.

## Construcción 4.0

Los enfoques tradicionales de planificación de seguridad se basan principalmente en información estática, regulaciones, políticas de seguridad de la compañía y dibujos bidimensionales (2D). Como resultado, la información dinámica, temporal (por ejemplo, cuándo y quién estará expuesto a peligros potenciales) y espacial (por ej. ubicación de zonas peligrosas) actualmente no se tiene en cuenta específicamente en la información. Con la introducción de nuevas tecnologías informáticas se está tratando de gestionar de forma más eficiente los riesgos presentes en construcción, suponiendo una oportunidad de mejora de los enfoques de PRL “tradicionales”. En [12] Sooyoung Choe et al. presentan un proceso de planificación de la seguridad de la construcción en 4 dimensiones (4D) que aborda los problemas temporales y específicos de la integración de información de seguridad espacial.

Se observa como los facilitadores surgidos en Industria 4.0 se están introduciendo con fuerza en el sector de la construcción, ofreciendo una oportunidad inmejorable para mejorar la prevención en dicho sector, sin embargo no se están analizando los posibles nuevos riesgos que pueden conllevar la introducción de nuevas tecnologías, siendo éste echo la base de desarrollo de ésta tesis.

## Metodologías

La incorporación de los facilitadores técnicos/digitales por ejemplo han dado lugar a la aparición de nuevos software, que incluyen modelos humanos digitales sofisticados y nuevos métodos ergonómicos, como son (Tecnomatix Jack y Delmia) desarrollados por Patrik Polášek et al. [13], o el empleo de (BIM) propuesto por Nor Diana Aziz et al. [14] cómo última tecnología de comunicación, pudiendo integrar en su entorno la planificación de la Higiene y Salud en el trabajo analizado en [15] por Abdulkadir Ganah et al.

## PROPUESTA DE ENTORNOS VIRTUALES PARA LA CONSTRUCCIÓN 4.0 EN PRL

Se propone la realización de un caso de estudio, empleando entornos virtuales para construcción, enfocados a prevención de riesgos laborales. La propuesta, consta de tres fases que engloban el ciclo de vida completo en construcción (Figura.1), siendo [1] la Fase de Diseño, la cual integrará la programación, el diseño conceptual, el diseño detallado, análisis y documentación. [2] Fase de Construcción, formada por las fases de fabricación, 4D (tiempo) y 5D (costo) y la fase logística de la construcción, y [3] Fase de Cierre, donde se incluyen las fases finales del ciclo de vida de la construcción, operación y mantenimiento y renovación o demolición.

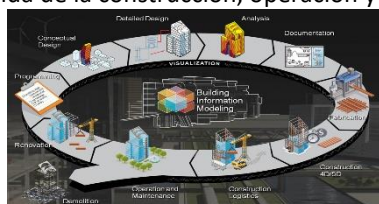


Figura 2: Ciclo de vida de la construcción

**Fase de Diseño:** Creación y análisis del modelo informático en el que se incluirá el Estudio de Seguridad y Salud a implantar y el Plan de Seguridad y Salud en el trabajo que será monitorizado y actualizado a tiempo real durante las fases de construcción y cierre.

**Fase de Construcción:** Implantación de Ambiente Inteligente, favoreciendo mediante la sensorización, el control de los parámetros ambientales (termohigrometría, acústica, concentración de agentes químicos, biológicos), etc. Integración de equipos de protección colectiva e individual inteligentes que permitan la monitorización y vigilancia de los operarios, así como la creación de un histórico de mediciones y toma de decisiones que permita la trazabilidad de las actuaciones referente a PRL.

**Fase de Cierre:** Será la fase final del ciclo de vida del proyecto, comprendiendo las actuaciones de mantenimiento, mejora y demolición.

## CONCLUSIONES

A medida que ha evolucionado la tecnología, los procesos productivos y la sociedad, han ido apareciendo nuevas metodologías y herramientas para mejorar la seguridad laboral en todas sus vertientes, introduciendo cada vez más medidas inteligentes. Sin embargo la construcción sigue siendo uno de los sectores con mayor número de accidentes laborales por lo que las medidas existentes de prevención siguen siendo insuficientes.

Una vez analizado el estado del arte, se puede identificar una oportunidad en el ámbito de PRL para la mejora de las actuaciones de los técnicos en todo el ciclo de vida de un construcción al introducir nuevas tecnologías en los procesos, y por otro lado, se observa la complejidad que se incorpora en la estructura de los riesgos convencionales al introducirse riesgos nuevos y emergentes, al no estar todavía identificados pero al sí estar siendo introducidos ya algunos de los facilitadores D/T en los entornos laborales (Big Data, iot, etc.) no dando prioridad primero al análisis de los riesgos a los que se va a someter al trabajador, ni a la formación en el correcto uso de las nuevas tecnologías.

Los objetivos serán validados y desarrollados en la tesis doctoral “Optimización de sistemas de Prevención de Riesgos Laborales en entornos de trabajo conectados e inteligentes. Aplicación a la Construcción 4.0” que está siendo elaborada.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] I.A. Papazoglou , O.N. Aneziris, L.J. Bellamy, B.J.M. Ale, J. Oh (2017) “Multi-hazard multi-person quantitative occupational risk model and risk management,” Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 167, pp. 310–326, Nov. 2017.
- [2] O.N.Aneziris, E.Topali, I.A.Papazoglou (2012) “Occupational risk of building construction,” Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 105, pp. 36–46, Sep. 2012.
- [3] N.Jaffar, A. H. Abdul-Tharim, I. F. Mohd-Kamar, N. S. Lop (2011) “A Literature Review of Ergonomics Risk Factors in Construction Industry,” Procedia Eng., vol. 20, pp. 89–97, Jan. 2011.
- [4] F. Henao Robledo (2010), Riesgos en la construcción.
- [5] Katarzyna Misiurek, Bartosz Misiurek (2017) “Methodology of improving occupational safety in the construction industry on the basis of the TWI program,” Saf. Sci., vol. 92, pp. 225–231, Feb. 2017.
- [6] DušanTatić, Bojan Tešić (2017) “The application of augmented reality technologies for the improvement of occupational safety in an industrial environment,” Comput. Ind., vol. 85, pp. 1–10, Feb. 2017.
- [7] F. Brocal Fernández, Miguel Ángel Sebastián Pérez (2014) “Analysis and Modeling of New and Emerging Occupational Risks in the Context of Advanced Manufacturing Processes,” Procedia Eng., vol. 100, pp. 1150–1159, Jan. 2015.

- [8] F. Brocal, M.A. Sebastián (2015) "Identification and Analysis of Advanced Manufacturing Processes Susceptible of Generating New and Emerging Occupational Risks," *Procedia Eng.*, vol. 132, pp. 887–894, Jan. 2015.
- [9] J.M. León Rubio (2016) U. DE SEVILLA Escuela Politécnica Superior José María León Rubio, "CONFERENCIA INAUGURAL Máster en Seguridad Integral en la Industria y Prevención de Riesgos Laborales El factor humano en Industria 4.0. Una nueva lectura de los riesgos psicosociales. Esquema de la conferencia."
- [10] X. Dominguez and G. De Andoin, (2016) "LOS RETOS DE LA PRL NUEVOS FACTORES DE RIESGO DERIVADOS DE NUEVAS TECNOLOGÍAS, PROCESOS Y PRODUCTOS INDUSTRIA 4.0 Y PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES."
- [11] Yang Lu (2017) "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues," *J. Ind. Inf. Integr.*, vol. 6, pp. 1–10, Jun. 2017.
- [12] Sooyoung Choe, Fernanda Leite (2017) "Construction safety planning: Site-specific temporal and spatial information integration," *Autom. Constr.*, vol. 84, pp. 335–344, Dec. 2017.
- [13] Patrik Polášek, Marek Bureš, Michal Šimon (2015) "Comparison of Digital Tools for Ergonomics in Practice," *Procedia Eng.*, vol. 100, pp. 1277–1285, Jan. 2015.
- [14] Nor Diana Aziz, Abdul Hadi Nawawi, Nor Rima Muhamad Ariff (2016) "ICT Evolution in Facilities Management (FM): Building Information Modelling (BIM) as the Latest Technology," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 234, pp. 363–371, Oct. 2016.
- [15] Abdulkadir Ganah, Godfaurd A. John (2015) "Integrating Building Information Modeling and Health and Safety for Onsite Construction," *Saf. Health Work*, vol. 6, no. 1, pp. 39–45, Mar. 2015.