

Review of health and safety management based on BIM methodology

Revisión de la gestión de seguridad y salud basada en la metodología BIM

ANTONIO J. AGUILAR

Building Engineer, University of Granada, Department of applied physics, Avenida Fuente Nueva S.N., 18071, Granada, Spain. antojas@ugr.es

MARÍA L. DE LA HOZ

Ph.D student, University of Granada, Department of applied physics, Avenida Fuente Nueva S.N., 18071, Granada, Spain. mlhoz@ugr.es

MARÍA D. MARTÍNEZ-AIRES

Professor, University of Granada, Department of Building Construction, Avenida Fuente Nueva S.N., 18071, Granada, Spain. aires@ugr.es

DIEGO P. RUÍZ

Professor, University of Granada, Department of applied physics, Avenida Fuente Nueva S.N., 18071, Granada, Spain. druíz@ugr.es

Construction sector in particular requires a great attention due to its level of hazard associated to its special characteristics. In this regard it must also be remembered that unlike most industrial processes, the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry continues using traditional methods both in the design and execution of projects. In the specific case of safety management, these methods are based on the use of 2D plans/drawings to identify potential risks and establish preventive measures. These are manual working methods, usually based on the expertise of professionals. Recently, building Information Modelling (BIM) has emerged as a fundamental part of construction project management, where BIM is intended to replace the traditional methodology based on CAD. Several characteristics make the use of BIM appealing in safety management. On the one hand, the possibility of implementing BIM in construction projects provides the opportunity to control it from the beginning, applying prevention through design; this possibility has unleashed a growing interest in the application of BIM in construction safety and health management. In this context, this paper presents the results of the analysis and review of research in safety management applying BIM methodology. The methodology used to carry out this study is based on a systematic literature review. The analysis was carried out taking into account the following attributes: (1) year of publication, (2) country, (3) research topic and (4) applied technology. As a result of this study, we conclude that up to now BIM related research was mainly focused on the design and construction phase. An important aspect which is frequently studied is the implementation of new technologies throughout the construction process, for example, the use of algorithms, rule checking, real time location system combined with BIM methodology.

Building Information Modelling; Safety management; Construction; Review.

El sector de la construcción es uno de los más peligrosos en el mundo, debido principalmente a las características especiales que presenta. Sin embargo, a diferencia de la industria, en el sector de la Ingeniería, Arquitectura y Construcción (IAC) se siguen empleando métodos tradicionales en el diseño y ejecución de los proyectos. En el caso específico de la gestión de la seguridad, estos métodos están basados en documentos y planos en 2D para identificar los riesgos y establecer las medidas preventivas. Estos métodos son manuales y basados normalmente en la experiencia del profesional. El Building Information Modelling (BIM) ha emergido como una herramienta fundamental en el sector de IAC, donde el BIM está llamado a reemplazar la metodología tradicional basada en CAD. La aplicación del BIM en proyectos de construcción aporta la ventaja de poder controlar el proyecto desde su inicio, pudiendo aplicar la prevención desde el diseño, mejorando así la gestión de la seguridad en este sector. El objetivo de la presente investigación es realizar una revisión del estado del conocimiento de la metodología BIM y la seguridad en obras de construcción. Con este fin, se han analizado las publicaciones anuales realizadas sobre este tema, en función de variables como título, año de publicación, tecnología, país de procedencia y caso de estudio. El análisis pone de manifiesto que las investigaciones están centradas principalmente en fase de diseño y construcción. Un aspecto importante es el empleo e implementación de nuevas tecnologías a lo largo del proceso constructivo, como es el uso de algoritmos, reglas de chequeo y sistemas de posicionamiento a tiempo real implementados en BIM.

Building Information Modelling; Gestión seguridad; Construcción; Revisión.

Abbreviations: BIM, Building Information Modeling. AIC, Arquitectura, Ingeniería y Construcción.

1. INTRODUCCIÓN

Las características funcionales que presenta el sector de la construcción determinan que sea uno de los sectores más peligrosos del mundo. Uno de cada cinco accidentes mortales (20,9%) en la EU en 2014 tuvo lugar en el sector de la construcción [1].

Son muchos los factores que influyen en la siniestralidad del sector, destacando que, a diferencia de otros sectores industriales, la planificación de un proyecto de construcción está sometido a constantes cambios: existen diversidad de tareas de forma simultánea, multiplicidad de agentes, escasa profesionalización, cada proyecto es único, etc. Sin embargo es posible planificar mínimamente los trabajos desde el punto de vista de la seguridad eliminando la posibilidad de que surjan accidentes, es decir, siempre es posible hacer prevención en el diseño (Prevention through Design) [2, 3].

En 1991 el informe Lorent [4] puso de manifiesto la correlación entre accidentes mortales y las decisiones tomadas en fase de proyecto; “el 35% del total de accidentes mortales registrados en obras de construcción se deben a decisiones tomadas en la fase de diseño de la obra”.

López-Valcárcel [5] expone que la mayor parte de los riesgos que surgen en los trabajos de construcción son el resultado de una mala planificación de los mismos.

Por otro lado, la comunicación de la comisión Europea de 2008 [6], pone de manifiesto que en fase de diseño, generalmente, no se tiene suficientemente en cuenta la seguridad, destacando la falta de coordinación en materia de seguridad entre los diferentes agentes. Todo ello, dificulta la prevención de los riesgos durante el ciclo de vida del edificio.

Como propone Szymberski [7], a medida que se avanza en el desarrollo de un proyecto, decrece la influencia que se puede tener en la toma de medidas en cuestión de seguridad y salud.

Por otro lado, a diferencia de otros sectores industriales donde los cambios tecnológicos han tenido un enorme impacto, el sector de la construcción continua empleando un elevado número de métodos tradicionales tanto en la elaboración de los proyectos como en la ejecución de las obras -basados principalmente en documentos y planos en 2D.

Durante los últimos años, estas circunstancias están cambiando en todo el mundo con la implantación de la metodología Building Information Modeling (en español, modelado de la información de edificación, en adelante BIM) como herramienta fundamental en la industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC) [8].

BIM, como metodología, consiste en la creación, gestión y

almacenamiento de información de las propiedades y características de las diferentes partes de la construcción, no solo referente a sus propiedades geométricas o visuales, sino relativas también a otros aspectos, además desarrolladas mediante una participación y colaboración entre los diferentes agentes que intervienen en el proyecto [9].

El modelo BIM resultante se trata de una representación digital de todas las características físicas y funcionales de un edificio, una base de datos de información fiable durante toda su vida útil, desde su diseño hasta su demolición. La concentración de toda la información y datos del proyecto en un único modelo permiten adquirir una visión global y una mayor coordinación de todas las partes del mismo.

La creciente aplicación de BIM en la industria de AIC está cambiando la forma de abordar la seguridad en construcción [10]. Esto permite anticiparse a los problemas que puedan aparecer posteriormente en obra, con mayor tiempo de estudio y eliminando las posibles interacciones que creen riesgos que puedan derivar en accidentes o lesiones de los trabajadores [11]. En este sentido BIM tiene el potencial de mejorar la prevención desde el diseño y sirve de apoyo entre arquitectos, ingenieros y constructores para mejorar la seguridad de los trabajadores en los procesos de construcción [12].

El modelo BIM, implementado con la generación de entornos virtuales, tiene un gran potencial para optimizar evaluaciones de riesgos precisas, así como definir y planificar las medidas de seguridad, para la formación en seguridad de los trabajadores y en definitiva para mejorar la gestión de la seguridad.

Es esencial que tanto diseñadores y técnicos de seguridad incluyan toda la información en el modelo BIM y que ambos desarrollen una gestión integrada de la seguridad desde el primer momento del diseño, tal y como remarcan [11].

BIM presenta una oportunidad en el campo de la seguridad y salud, ya que permite cumplir con la obligación establecida en el RD 1627/1997 y la Ley de Prevención de Riesgos Laborales en su art 15 de ‘combatir los riesgos en su origen’.

La aplicación del BIM en el campo de seguridad y salud en AIC supone la ventaja de controlar el proyecto desde el principio, pudiendo aplicar la prevención desde la fase de diseño. Sin embargo, todavía está en una fase prematura, ya que según el informe de SmartMarket de 2014 solo un 7% de las empresas constructoras afirma que uno de los principales beneficios de la metodología BIM es la mejora de la seguridad y salud [13].

En este trabajo se presenta una revisión sistemática de la bibliografía existente en materia de gestión de la seguridad y salud aplicando la metodología BIM con el objetivo de conocer la situación actual.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada para la realización del estudio se basa en la revisión sistemática de bibliografía sobre metodología BIM aplicada a la seguridad y salud. El proceso de revisión queda reflejado en la Figura 1. El primer paso ha sido identificar las fuentes de información a consultar.

En la revisión se han considerado solo artículos de revistas con índice de impacto ('Journal Citation Report'). No se han tenido en cuenta otras publicaciones académicas o publicaciones de congresos. Las bases de datos consultadas fueron Web of Science, Scopus, Science Direct y ASCE.

El período de análisis del estudio se ha realizado entre 2009 hasta 2016, ya que la metodología BIM es de reciente aplicación y es durante estos años donde se ha producido su mayor implantación tanto a nivel académico (investigaciones) como a nivel profesional.

Para la revisión bibliográfica se han tenido en cuenta tres criterios de búsqueda. Los artículos han sido identificados mediante token (palabras clave):

- 1) "BIM" OR "Building Information Modelling"
- 2) "Safe" OR "Risk" OR "Hazard"

- ♦ Criterio 1.- Los artículos han sido identificados usando el token (1) junto con el (2) en el título y/o resumen y/o palabras clave.
- ♦ Criterio 2.- Los artículos han sido identificados usando el token (1) en todo el cuerpo del artículo y el token (2) en el título y/o resumen y/o palabras clave.
- ♦ Criterio 3.- En esta fase se han incluido aquellos artículos que han quedado fuera de los criterios de búsqueda anteriores. Estos han sido identificados a través de las referencias de los propios artículos o mediante la búsqueda de autores más destacados en la materia.

Criterio de búsqueda	Nº artículos
Token (1) y (2) en título y/o resumen y/o palabras clave	77
Token (1) todo el artículo; (2) en título y/o resumen y/o palabras clave	94
Fuera de criterios de búsqueda	8
Eliminación de duplicados	18
Total	161

Tabla 1: Resultados de la búsqueda

En la Tabla 1 se muestra el resumen de los resultados obtenidos tras la búsqueda. Un total de 77 artículos han sido identificados según el criterio 1 y 94 artículos según criterio 2. En una etapa posterior se han eliminado 18 artículos duplicados.

En total se han obtenido 113 artículos entre ambos criterios de búsqueda. En la fase de gestión y depuración se han excluido 113 artículos, ya que aunque estos cumplían con los criterios de búsqueda, los artículos no trataban sobre seguridad y salud en el sector de la construcción.

Una vez realizada la depuración se han obtenido 40 artículos, a los que se han incluido 8 artículos según el criterio de búsqueda 3, correspondientes a artículos que han quedado fuera de los criterios anteriores. En total han sido seleccionados 48 artículos para su análisis.

Los artículos han sido codificados para su análisis en función de (1) título del artículo, (2) año de publicación, (3) título de la revista, (4) país, (5) tema de investigación, (6) fase del proyecto y (6) tecnología aplicada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los artículos han sido analizados en función del periodo de publicación, distribución por países, tecnología aplicada y fase de proyecto implementada.

Los resultados son analizados en las siguientes secciones.

3.1. PERIODO DE PUBLICACIÓN DE LOS ARTÍCULOS

La Figura 2 muestra la evolución histórica de la aplicación de la metodología BIM a la seguridad y salud en el sector construcción. El primer artículo que aplica BIM con dicho

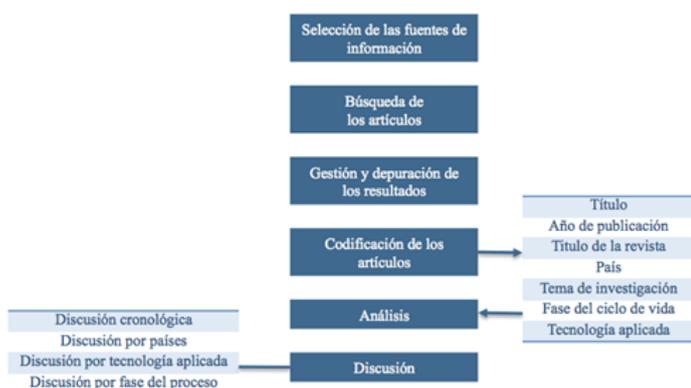


Figura 1: Diagrama proceso revisión bibliográfico.

objetivo fue publicado en el año 2009.

El número de publicaciones es especialmente bajo hasta 2013, y es a partir de este año cuando las publicaciones comienzan a crecer gradualmente.

Por lo tanto se puede hacer una división en dos períodos, un primer período entre 2009-2012, que representa un 10% del total de publicaciones, y el período 2012-2016, que supone el 90%. Es a partir de 2013 donde la seguridad ha comenzado a ser una investigación relevante dentro de la metodología BIM.

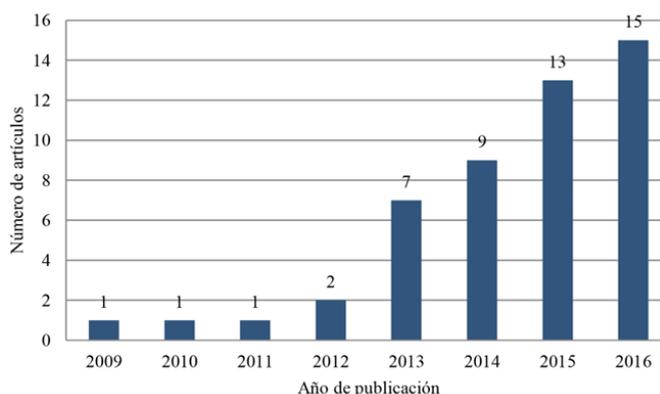


Figura 2: Distribución de artículos según año de publicación

3.2. PUBLICACIONES DISTRIBUIDAS POR PAÍSES

La distribución ha sido analizada en función del país de referencia del autor e institución principal donde se han realizado las investigaciones. Del análisis se han obtenido investigaciones de 13 países pertenecientes a 4 continentes distintos (ver Figura 3).

El país que presenta mayores publicaciones es EEUU, con un 40% de los artículos, seguido de China con 21% y Corea del Sur 13%. Mientras que el resto de países oscila entre un 2-7% de las publicaciones.

Desde un punto de vista global, aunque EEUU es el país con mayor número de investigaciones, es en el continente asiático donde se han producido el mayor número de contribuciones, con el 46% del total.

EEUU es el líder global en desarrollo e implementación de BIM en el sector de la construcción [14]. Este país fue el pionero en implementar el uso de BIM en los proyectos públicos desde 2007.

También han desarrollado una serie de directrices y normas que incluye la 'National BIM Standard' que es reconocida a internacionalmente. En cambio, China y Corea del Sur tienen un nivel de implementación relativamente más bajo comparado con otros países (como son Reino Unido y los países escandinavos), sin embargo el número de

investigaciones publicadas sobre seguridad y BIM es considerablemente mayor.

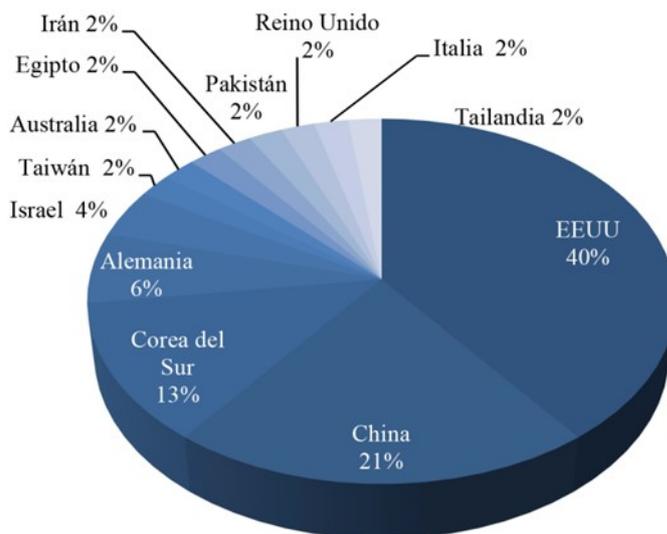


Figura 3: Porcentaje de publicaciones según país de publicación

3.3. PUBLICACIONES EN FUNCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

La principal aplicación de estas tecnologías en BIM es la identificación y visualización de riesgos. La Fig. 4 muestra la distribución de la tecnología aplicada en las diferentes publicaciones.

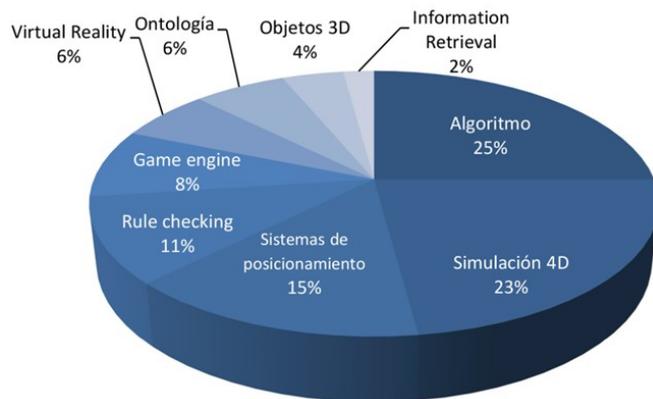


Figura 4: Porcentaje de publicaciones según tecnología aplicada

En cuanto a las tecnologías más empleadas, cabe destacar que casi el 50% de las publicaciones se distribuyen en el uso de algoritmos (25%), y el uso de la simulación 4D (23%).

En el siguiente grupo se encuentra la utilización de sistemas de posicionamiento a tiempo real, 'rule checking', motores de videojuegos, realidad virtual y ontologías ocupando cada una de ellas entre el 15-6%. En un último grupo encontramos el uso de 'Information Retrieval' y diseño de objetos 3D, con 4-2% de las publicaciones. La primera tecnología empleada junto con BIM para la gestión de seguridad es el uso de algoritmos [15], con la finalidad de mostrar la exposición de los trabajadores frente a peligros derivados de la actividad

de otra cuadrilla (como por ejemplo la pérdida de control de herramientas o materiales). La siguientes tecnología aplicada fue la simulación 4D para la identificación de los riesgos de caída en altura [16].

Dado que las tecnologías de simulación 4D y el uso de algoritmo fueron las primeras herramientas en utilizarse aplicadas a la metodología BIM, el número de artículos publicados es mayor en este ámbito que en otras tecnologías.

En los últimos años el número de tecnologías aplicadas en las investigaciones se ha visto diversificado. La Tabla 2 muestra un resumen de la distribución de las tecnologías aplicadas a la metodología BIM en las diferentes publicaciones, en función su finalidad en la gestión de la seguridad.

Tecnología aplicada	Gestión de seguridad	Referencias
Algoritmo	Identificación de riesgos. Evacuación en caso de emergencia	[15, 17]
Simulación 4D	Identificación de riesgos y congestión de espacios de trabajo	[18, 19]
Sistemas de posicionamiento a tiempo real	Identificación de riesgos a tiempo real y zonas peligrosas. Detección de riesgo de colisión.	[20, 21]
Rule-checking	Identificación de riesgos de caída en altura. Riesgos derivados de las instalaciones auxiliares	[10, 22]
Motor de videojuegos	Formación de seguridad	[23, 24]
Realidad virtual	Formación de seguridad	[25, 26]
Ontología	Gestión de la información de seguridad	[27, 28]
Information retrieval	Recuperación de información de accidentes	[29]

Tabla 2: Aplicación de las diferentes tecnologías a la gestión de seguridad y BIM

3.4. PUBLICACIONES EN FUNCIÓN DE LA FASE DE PROYECTO

La Fig. 5 muestra la distribución de las publicaciones en función de la fase del proceso constructivo. [30] al ser una metodología de reciente aplicación la mayoría de los estudios se enfocan en la primera fase del proceso constructivo.



Figura 5: Porcentaje de publicaciones según fase del proceso constructivo

En la fase de construcción se distribuye el 20% de los artículos, mientras que en fase de mantenimiento un 14%. Durante la investigación se ha decidido incluir los estudios referentes a formación, que aunque no es una fase propia del proceso constructivo, forma parte de todo el proceso. En fase de diseño cabe destacar el empleo de la simulación 4D orientada a la planificación y congestión de los espacios de trabajo [30] y a la identificación y visualización de riesgos [18, 31]. En fase de construcción destaca el empleo de sistemas de posicionamiento a tiempo real (Real time location system) para la obtención de datos a tiempo real sobre seguridad [21, 32, 33]. En fase de mantenimiento destaca el uso de algoritmos para las evaluaciones y planificaciones de recorridos y evacuaciones de emergencia [34-36]. En formación de seguridad destaca el empleo de motores de videojuegos y realidad virtual [23, 24, 26, 37].

4. CONCLUSIONES

El interés y uso de la metodología BIM en el sector de IAC ha sufrido un crecimiento exponencial durante la última década. Esta metodología pretende revolucionar el sector, ya que el objetivo principal es que todos los agentes intervinientes en el proceso colaboren y trabajen sobre un único modelo 3D. Esta característica ofrece la posibilidad de que todos los agentes intervinientes en el proceso constructivo aporten y compartan información relacionada con la seguridad, mejorando así la prevención desde el diseño y combatiendo el riesgo desde el origen. El uso del mismo modelo permite evitar la duplicidad de documentación, permitiendo a los agentes trabajar sobre una misma plataforma que muestra posibles interferencias que puedan derivar en riesgos o accidentes. De acuerdo con la revisión bibliográfica se observa que desde el año 2013 existe un aumento en el interés en la aplicación del BIM a la gestión de la Seguridad.

El país con un mayor número de publicaciones es Estados Unidos, el cual es uno de los países líderes en la implementación del BIM en el sector de la construcción. Cabe destacar que el segundo país con mayor publicaciones es

China, donde aunque la implementación del BIM se encuentra en una etapa inicial, el interés en su aplicación a la seguridad les ha llevado a ampliar las investigaciones en este campo más que en otros países donde la implementación del BIM está más desarrollada (como por ejemplo el Reino Unido).

Por otro lado, el mayor número de investigaciones se centran en fase de diseño, 52% del total, frente al 23% en fase de construcción, 12% en fase de mantenimiento y 13% en formación.

Esta razón atiende a que al ser una metodología de reciente implantación la mayor parte de las investigaciones se centran en fase de diseño. Entre los principales avances que encontramos en el uso de esta metodología aplicada a la seguridad son la automatización en la identificación de riesgos y aplicación de medidas preventivas, la identificación de congestión de espacios de trabajo, la información de seguridad a tiempo real y la creación de entorno virtuales que mejoran tanto el aprendizaje como la gestión de la seguridad.

Un aspecto importante a destacar es el uso de nuevas tecnologías a lo largo de todo el proceso constructivo. Entre ellas por su relevancia cabe remarcar el uso de algoritmos y simulación 4D, seguidos por sistemas de posicionamiento a tiempo real y reglas de verificación (rule checking).

En el empleo de algoritmos y simulación 4D destaca su uso para identificación de riesgos, mientras que el empleo de rule checking está enfocado a la identificación de riesgos de caída en altura.

El empleo de sistemas de posicionamiento se utiliza para obtener información de seguridad a tiempo real, siendo la identificación de riesgos por colisión (entre maquinaria y trabajadores a pie) su principal uso.

5. REFERENCIAS

- [1] EUROSTAT, "Accidents at work statistics," Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, 2018.
- [2] J. A. Gambatese, J. W. Hinze, and C. T. Haas, "Tool to design for construction worker safety," *J. Arch. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 32-41, 1997.
- [3] A. López-Arquillos, J. C. Rubio-Romero, and M. D. Martínez-Aires, "Prevention through Design (PTD). The importance of the concept in Engineering and Architecture university courses," *Saf. Sci.*, vol. 73, pp. 8-14, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.11.006>
- [4] P. Lorent, "From drawing board to building site: Working conditions, quality and economic performance," Office of Official Publications of the European Community, Luxembourg, 1991.
- [5] A. López Valcárcel, "Panorama internacional de la seguridad y salud en el trabajo de construcción," *El Criterio de la OIT [En línea]*. Disponible en Internet < URL: http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/cinte/main.htm >. [Citado en 10 de mayo del 2013].
- [6] COM(2008) 698 final. 6.11.2008. Relativa a la aplicación práctica de las Directivas 92/57/CEE (obras de construcción temporales o móviles) y 92/58/CEE (señalización de seguridad en el trabajo) en materia de salud y seguridad en el trabajo, Bruselas: 2008.
- [7] R. T. Szymberski, "Construction project safety planning," *Tappi journal (USA)*, pp. 0734-1415, 1997.
- [8] D. Bryde, M. Broquetas, and J. M. Volm, "The project benefits of building information modelling (BIM)," *Int. j. proj. manag.*, vol. 31, no. 7, pp. 971-980, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- [9] C. M. Eastman, C. Eastman, P. Teicholz, and R. Sacks, *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons, 2011.
- [10] S. Zhang, J. Teizer, J.-K. Lee, C. M. Eastman, and M. Venugopal, "Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules," *Autom. Constr.*, vol. 29, pp. 183-195, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>
- [11] F. Rodrigues and A. Alves, "Contribution of BIM for hazards' prevention through design," *Occupational Safety and Hygiene III*, pp. 67-69, 2015.
- [12] K. Ku and T. Mills, "Research needs for building information modeling for construction safety," in *International Proceedings of Associated Schools of Construction 45nd Annual Conference, Boston*, 2010.
- [13] McGraw-Hill Construction, "The Business Value of BIM For Construction in Major Global Markets: how contractors around the world are driving innovation with building information modeling," *Smart MarketReport*, 2014.
- [14] A. K. D. Wong, F. K. Wong, and A. Nadeem, "Comparative roles of major stakeholders for the implementation of BIM in various countries," in *Proceedings of the International Conference on Changing Roles: New Roles, New Challenges, Noordwijk Aan Zee, The Netherlands*, 2009, pp. 5-9.
- [15] R. Sacks, O. Rozenfeld, and Y. Rosenfeld, "Spatial and temporal exposure to safety hazards in construction," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 135, no. 8, pp. 726-736, 2009. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:8\(726\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:8(726))
- [16] V. Benjaoran and S. Bhokha, "An integrated safety management with construction management using 4D CAD model," *Saf. Sci.*, vol. 48, no. 3, pp. 395-403, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.09.009>
- [17] K. Kim, Y. Cho, and S. Zhang, "Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM," *Autom. Constr.*, vol. 70, pp. 128-142, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.012>
- [18] Y. Zhou, L. Y. Ding, and L. J. Chen, "Application of 4D visualization technology for safety management in metro construction," *Autom. Constr.*, vol. 34, pp. 25-36, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.011>
- [19] B. Choi, H.-S. Lee, M. Park, Y. K. Cho, and H. Kim, "Framework for work-space planning using four-dimensional BIM in construction projects," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 140, no. 9, pp. 04014041, 2014. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000885](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000885)
- [20] H. Kim, H.-S. Lee, M. Park, B. Chung, and S. Hwang, "Automated hazardous area identification using laborers' actual and optimal routes," *Autom. Constr.*, vol. 65, pp. 21-32, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.01.006>
- [21] O. Golovina, J. Teizer, and N. Pradhananga, "Heat map generation for predictive safety planning: Preventing struck-by and near miss interactions between workers-on-foot and construction equipment," *Autom. Constr.*, vol. 71, pp. 99-115, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.008>
- [22] S. Zhang, K. Sulankivi, M. Kiviniemi, I. Romo, C. M. Eastman, and J. Teizer, "BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning," *Saf. Sci.*, vol. 72, pp. 31-45, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>
- [23] A. Albert, M. R. Hollowell, B. Kleiner, A. Chen, and M. Golparvar-Fard, "Enhancing construction hazard recognition with high-fidelity augmented virtuality," *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 140, no. 7, Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000860](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000860)

- [24] H. Li, G. Chan, and M. Skitmore, "Visualizing safety assessment by integrating the use of game technology," *Autom. constr.*, vol. 22, pp. 498-505, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.11.009>
- [25] H. Li, M. Lu, G. Chan, and M. Skitmore, "Proactive training system for safe and efficient precast installation," *Autom. Constr.*, vol. 49, pp. 163-174, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.010>
- [26] A. Perlman, R. Sacks, and R. Barak, "Hazard recognition and risk perception in construction," *Saf. sci.*, vol. 64, pp. 22-31, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.11.019>
- [27] S. Zhang, F. Boukamp, and J. Teizer, "Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA)," *Autom. Constr.*, vol. 52, pp. 29-41, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.005>
- [28] L. Y. Ding, B. T. Zhong, S. Wu, and H. B. Luo, "Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology," *Saf. Sci.*, vol. 87, pp. 202-213, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.008>
- [29] H. Kim, H.-S. Lee, M. Park, B. Chung, and S. Hwang, "Information retrieval framework for hazard identification in construction," *J. Comput. Civil. Eng.*, vol. 29, no. 3, pp. 04014052, 2013. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000340](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000340)
- [30] H. Moon, N. Dawood, and L. Kang, "Development of workspace conflict visualization system using 4D object of work schedule," *Adv. Eng. Inform.*, vol. 28, no. 1, pp. 50-65, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2013.12.001>
- [31] H. L. Guo, H. Li, and V. Li, "VP-based safety management in large-scale construction projects: A conceptual framework," *Autom. Constr.*, vol. 34, pp. 16-24, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.013>
- [32] T. Cheng and J. Teizer, "Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications," *Autom. Constr.*, vol. 34, pp. 3-15, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.017>
- [33] S. Zhang, J. Teizer, N. Pradhananga, and C. M. Eastman, "Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning," *Autom. Constr.*, vol. 60, pp. 74-86, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.009>
- [34] S.-H. Wang, W.-C. Wang, K.-C. Wang, and S.-Y. Shih, "Applying building information modeling to support fire safety management," *Autom. Constr.*, vol. 59, pp. 158-167, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.001>
- [35] P. Abolghasemzadeh, "A comprehensive method for environmentally sensitive and behavioral microscopic egress analysis in case of fire in buildings," *Saf. sci.*, vol. 59, pp. 1-9, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.04.008>
- [36] N. Li, B. Becerik-Gerber, B. Krishnamachari, and L. Soibelman, "A BIM centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations," *Autom. Constr.*, vol. 42, pp. 78-89, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.019>
- [37] U. Ruppel and K. Schatz, "Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations," *Adv. Eng. Inform.*, vol. 25, no. 4, pp. 600-611, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.08.001>

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.