

GESTIÓN DE OPERACIONES

INDUSTRIALES



Esta obra está publicada bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
TRUJILLO



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRUJILLO, PERÚ

BENEFITS OF TECHNOLOGY 4.0 IN THE CONSTRUCTION SECTOR: SYSTEMATIC REVIEW

**Maicol Steven Benites Meregildo¹; Richard Eduardo Contreras Cruz¹;
Bryam Montañez Correa¹; Maricielo Shantall Gavidia Calle^{1*};
David Vílchez Chávez¹**

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

*Autor correspondiente: t053500920@unitru.edu.pe

Fecha de recepción: 29.09.2023 Fecha de aceptación: 12.12.2023

ORCID de Autores:

M. S. Benites Meregildo

<https://orcid.org/0009-0004-3170-9343>

R.E. Contreras Cruz

<https://orcid.org/0000-0003-3348-952X>

B. Montañez Correa

<https://orcid.org/0000-0001-6321-4063>

M.S. Gavidia Calle

<https://orcid.org/0009-0004-2858-608X>

D.M. Vílchez Chávez

<https://orcid.org/0000-0001-9212-0031>

ABSTRACT

The research focuses on how the construction industry benefits from Industry 4.0, merging the real and virtual world through the application of innovative technologies in various processes throughout the life cycle of construction projects. Among these technologies, BIM and robotic arms stand out, exploring both their advantages and disadvantages. This integration of industry 4.0 in construction allows for more autonomous management of processes, providing flexibility in responses to emerging needs. The synergy between the physical and virtual world, enhanced by these technological tools, reconfigures the way construction challenges are addressed, providing more efficient and adaptive solutions. The adoption of technologies such as BIM and robotic arms represents a significant step towards modernization and efficiency in the construction industry, aligning it with the changing demands of the built environment.

Keywords: industry 4.0, construction, BIM, robotic arms, efficiency.

BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA 4.0 EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN: REVISIÓN SISTEMÁTICA

RESUMEN

La investigación se centra en cómo la industria de la construcción se beneficia de la industria 4.0, fusionando el mundo real y virtual mediante la aplicación de tecnologías innovadoras en diversos procesos a lo largo del ciclo de vida de los proyectos constructivos. Entre estas tecnologías se destacan el BIM y los brazos robóticos, explorando tanto sus ventajas como desventajas. Esta integración de la industria 4.0 en la construcción permite una gestión más autónoma de los procesos, brindando flexibilidad en las respuestas a las necesidades emergentes. La sinergia entre el mundo físico y el virtual, potenciada por estas herramientas tecnológicas, reconfigura la forma en que se abordan los desafíos en la construcción, proporcionando soluciones más eficientes y adaptativas. La adopción de tecnologías como BIM y brazos robóticos representa un avance significativo hacia la modernización y la eficiencia en la industria de la construcción, alineándola con las demandas cambiantes del entorno construido.

Palabras clave: industria 4.0, construcción, BIM, brazos robóticos, eficiencia.

1. Introducción

El rápido avance de la ciencia y la tecnología ha permitido la creación de soluciones cada vez más efectivas a los múltiples desafíos que enfrenta la sociedad contemporánea [1]. En este contexto, las Naciones Unidas han establecido los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los ingenieros son importantes para la innovación y la adaptación a estos cambios tecnológicos [2]. Es fundamental examinar no solo los avances tecnológicos, sino también el impacto de la Construcción 4.0 en el hábitat humano y la vivienda, esta transformación no se trata solo de edificios inteligentes o la digitalización de procesos constructivos, sino de la creación de entornos más seguros, sostenibles y confortables para las personas, la Construcción 4.0 se entrelaza con cuestiones fundamentales, como el acceso a la vivienda, la urbanización sostenible y la igualdad en el acceso a los beneficios de estas innovaciones [3]. Las bases para explorar en detalle cómo la Construcción 4.0 está moldeando nuestro hábitat y cambiando la forma en que vivimos y construimos. A lo largo de esta investigación, analizaremos las tecnologías emergentes, los desafíos sociales y medioambientales, y las oportunidades que esta revolución brinda a nivel global. También consideraremos cómo podemos aprovechar esta revolución para construir un futuro más habitable y sostenible para todos. Por último, esta investigación tiene como objetivo comprender y contextualizar los efectos de la construcción 4.0 en el hábitat, la vivienda y la calidad de vida de las personas, así como fomentar soluciones que beneficien a la sociedad en su conjunto [4]. La industria 4.0 está transformando el sector de la construcción al mejorar la eficiencia, la calidad y la innovación como aplicación. No obstante, también presenta obstáculos que deben resolverse para maximizar el uso de estas tecnologías [5].

La digitalización y automatización del entorno de fabricación se conocen como Industria 4.0. La industria de la construcción no ha prestado mucha atención a este concepto, a pesar de sus posibilidades de mejorar la productividad y la calidad [1, 6]. Este avance se basa en el hecho de que aún se desconocen en gran medida las implicaciones de largo alcance del entorno de fabricación cada vez más digitalizado y automatizado. Varios indicadores sugieren que la metodología de construcción convencional ha llegado a su límite [7]. El diseño colaborativo basado en sistemas de información compartidos como BIM requiere cambiar las prácticas y rutinas de trabajo tradicionales e institucionalizadas. Un estudio de caso de diseño BIM integrado en un gran proyecto de construcción de atención sanitaria sirve como ejemplo de cómo se pueden superar los desafíos más comunes. El proyecto recibió el premio Building SMART 2015 por su "práctica BIM abierta sobresaliente", lo que lo convierte en el modelo a seguir en Noruega para la práctica BIM [10]. Y un estudio empírico en china proporciona información empírica sobre la naturaleza colaborativa de los proyectos de construcción BIM y resaltan la importancia de la colaboración dentro de los equipos de proyecto en la ejecución de proyectos BIM [11]. El objetivo principal de este artículo es analizar el estado del arte y la práctica de las tecnologías 4.0 en la industria de la construcción, señalando las implicaciones políticas, económicas, sociales, tecnológicas, ambientales y legales. En este contexto, presentamos los hallazgos de nuestro método de triangulación, que consisten en una revisión minuciosa de la literatura y una investigación de estudios de ejemplos. Además, brindamos recomendaciones para futuras investigaciones dentro de una agenda de investigación.

Actualmente, ya se puede observar que la tecnología de automatización de la construcción, los enfoques STCR, los sistemas de robots de servicio [7]. Pero también se presentan brechas en el área de operación autónoma de UGV y las brechas en el campo de las Interfaces Hombre-Máquina (HMI) de UGV [9]. Las máquinas generalmente aumentan la productividad en todas las industrias, pero inevitablemente conducen a pérdidas de empleo. Si seguimos así, viviremos en una sociedad donde no hay necesidad de trabajo, la miseria y el desempleo afectarán la calidad de vida y la convivencia pacífica.

En las últimas décadas, los elementos individuales, también llamados componentes prefabricados, se han popularizado en el sector de la construcción [8]. La prefabricación es una práctica de construcción que fabrica la mayoría de los subconjuntos de un edificio, desde paneles de pared hasta habitaciones completas en un entorno de fábrica controlado, antes de transportar

los subconjuntos al sitio de construcción para su ensamblaje. Para ello hace necesario la tecnología como es los brazos robóticos [7, 8].

Por último, desde la perspectiva de la gestión, todas las afirmaciones sobre la industria 4.0 y la construcción se reflejan en beneficios para la industria: ahorro de costos, ahorro de tiempo, entregas dentro del presupuesto y a tiempo, mejor calidad, mejor comunicación y colaboración, mejores relaciones con los clientes, mayor seguridad, mejor imagen de la industria y mejor sostenibilidad [6].

Nuestro objetivo es investigar cómo la industria de la construcción se beneficia de la industria 4.0, el mundo real y el mundo virtual, al aplicar nuevas tecnologías a diferentes procesos a lo largo del ciclo de vida de los proyectos de construcción, como el uso de tecnologías. como BIM y brazos robóticos, que anteriormente se mencionaron algunas de las ventajas y desventajas de estas tecnologías. Se complementa con la industria 4.0 en el sector de la construcción para que estos procesos puedan gestionarse de forma más autónoma y las respuestas y necesidades sean más flexibles.

2. Metodología

En este análisis, se ha llevado a cabo una minuciosa exploración de datos a través de una revisión sistemática recientemente publicada en el campo de Ingeniería y Ciencia de los Materiales. En consonancia con la influencia de la era de la Industria 4.0, la industria de la construcción está experimentando transformaciones sustanciales. Para su desarrollo, se han seguido las pautas de la declaración PRISMA con el fin de garantizar una elaboración precisa.

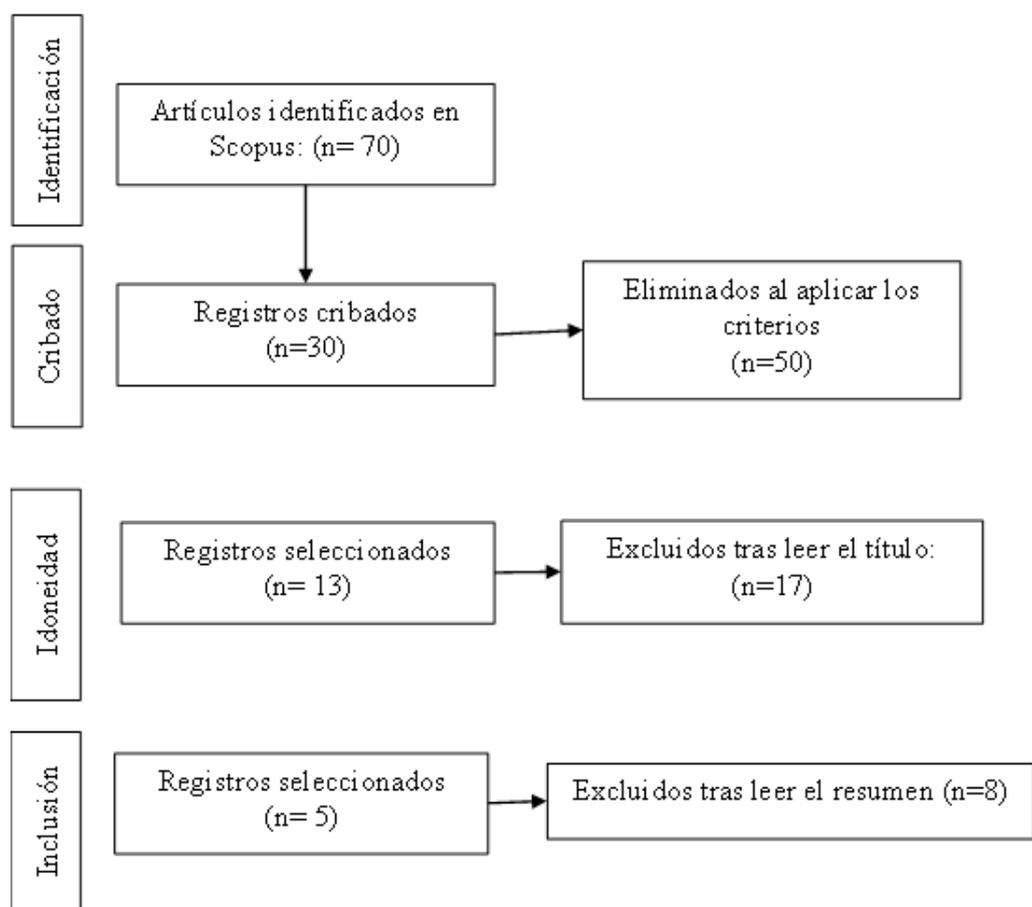


Figura 01. Diagrama de flujo PRISMA

3. Resultados y discusión

Tabla 1

Resumen de 5 artículos específicos

Título	Objetivo	Metodología	Conclusión
Industria 4.0 para la industria de la construcción: ¿qué tan preparada está la industria?	Destacar la importancia de Building Information Modelling (BIM) como elemento central en el sistema ciberfísico y su capacidad para mejorar el ciclo de vida de la construcción.	Revisión sistemática de la Literatura	La introducción de BIM junto con la Industria 4.0 está transformando la industria de la construcción, mejorando la calidad y el rendimiento del ciclo de vida del proyecto.
Un mapeo bibliométrico y cientométrico de la industria 4.0 en construcción	Comprender la evolución de la adopción de la Industria 4.0 en la construcción a lo largo del tiempo.	Revisión sistemática con análisis bibliométricos y cientométricos	La construcción adopta la Industria 4.0, destacando el papel crucial de tecnologías como BIM y señalando áreas de mejora.
Integración de tecnologías relacionadas con la Industria 4.0 en la industria de la construcción: un marco de Sistema ciberfísico	Crear un marco de sistema ciberfísico que permita la integración efectiva de estas tecnologías en la construcción, mejorando las capacidades generales de las organizaciones y la gestión en este sector.	Análisis de las características de la industria construcción y estudio de caso	Se sugiere que con la profunda integración de tecnologías de la Industria 4.0 y la implementación de sistemas ciberfísicos, los modos de producción y gestión en las industrias de la construcción y la manufactura tienden a volverse cada vez más similares.
La adopción de IOT en la industria de la construcción de Malasia: hacia la Construcción 4.0	Revisar la adopción del Internet de las Cosas (IoT) en la industria de la construcción de Malasia, centrándose en cómo esta tecnología puede impulsar la Construcción 4.0 para mejorar la productividad, reducir tiempos y	Revisión exhaustiva de la literatura a través de Scopus, Web of Science y Google Scholar, utilizando frases clave. Se filtraron datos de diversas fuentes para obtener resultados confiables.	La adopción de IoT en la construcción de Malasia avanza, respaldada por el gobierno, pero enfrenta desafíos en costos y expertise, requiriendo mejoras continuas para mantenerse globalmente competitiva.

	costos, y mitigar riesgos en el proceso de construcción.		
Evaluación del éxito de la digitalización de la Industria 4.0 Prácticas para la Gestión de la Construcción Sostenible: Industria de la construcción china	Examinar los impactos positivos de las técnicas de digitalización de la Industria 4.0 en la gestión sostenible de la construcción, identificando factores clave para profesionales y formuladores de políticas.	Análisis factorial exploratorio (EFA) y modelado de ecuaciones estructurales (SEM)	El éxito de la digitalización de la Industria 4.0 en la gestión sostenible de la construcción, pero reconoce limitaciones y sugiere áreas para futuras investigaciones transculturales y longitudinales

Discutiendo los artículos mostrados en la Tabla 1, se tiene que según Safura et al [7] establecen como motor de cambio a la Industria 4.0. Algunos de los puntos clave incluyen la automatización y la eficiencia, la personalización de los proyectos satisfacer las necesidades individuales de los que lo requieran, y la importancia de las tecnologías clave como la integración de sistemas, la realidad aumentada BIM (Building Information Modelling). La digitalización y el modelado permiten una planificación más precisa lo que conlleva a una mayor productividad y rentabilidad en el sector de la construcción. Además, la Industria 4.0 abre oportunidades para la innovación en un sector que se consideraba rezagado en la adopción tecnológica.

Mientras que Salwati et al [8] se centra en la adopción de Internet de las cosas (IoT) en la industria de la construcción de Malasia, mejorando la productividad a través del monitoreo y control más efectivo de maquinaria, materiales y mano de obra. De esta manera, facilita la flexibilidad en la secuencia del proyecto, reduciendo tiempo y costos, y permitiendo la gestión activa del proceso. Además, IoT se utiliza para gestionar la productividad de los empleados en el sitio y promover la sostenibilidad y la gestión de residuos convirtiéndose en una importante estrategia de la adopción de estas tecnologías.

Comparando con Safura et al [7] y Salwati et al [8], ambos autores sostienen que la industria 4.0 ha tenido un impacto enorme este sector, permitiendo reducir el riesgo de errores, defectos de construcción y evitar retrasos. Esto quiere decir optimizar más el tiempo de construcción. Utilizando la tecnología de la industria 4.0 influye de manera eficiente.

En China esta estrategia está siendo ejecutada para aspectos específicos según menciona Muhammad et al [9] la Industria 4.0 está contribuyendo a la gestión de la construcción sostenible en China con la optimización de operaciones mediante tecnologías como IoT, inteligencia artificial, análisis de big data y robótica para la optimización del uso de recursos y la reducción del impacto ambiental. La gestión integral de la construcción sostenible se centra en aspectos como el diseño sostenible, la eficiencia energética y la gestión de residuos Este enfoque busca resultados ecológicos, sociales y financieros favorables y promueve una construcción más sostenible en China y más allá.

Discutiendo la idea [9], se dice que la industria 4.0 optimiza los procesos de diseño en las construcciones, agiliza las funciones y si relacionamos a la sostenibilidad mejora la utilización de los recursos, esto conllevaría a garantizar la sostenibilidad a largo plazo en la industria de la construcción. Diseño de edificios sostenibles, optimizar el uso de energía, asimismo, tener ética y responsabilidad social.

Otro de los aportes de la adopción de la tecnología digital lo menciona Raihan et al [10] a

través del escaneo 3D, BIM, drones y realidad aumentada, promete aumentar la eficiencia y la productividad en la construcción, con mejoras en la calidad de los proyectos desde la adecuada planificación hasta una mayor gestión de datos, impulsada por BIM, cuyo papel facilita la colaboración en tiempo real y promueve la sostenibilidad y la ecoeficiencia.

Las tecnologías robóticas han influido de manera positiva en la industria de la construcción, conocida como la automatización de la construcción, para crear elementos de edificios, componentes y muebles de construcción.

Por último, la Industria 4.0 es una realidad que debe suponer la integración de tecnologías en un sistema ciberfísico (CPS) como lo menciona Zhijia y Lingjun [11] ya que conecta el mundo físico y digital, permitiendo una comunicación en tiempo real entre dispositivos y personas. Aunque la Industria 4.0 está en marcha, la construcción aún está en una etapa inicial de adopción de estas tecnologías. Se necesita una integración más completa para mejorar la organización y gestión en lugar de aplicaciones fragmentadas. Se presenta un ejemplo práctico en el caso del centro de servicios al ciudadano de Xiong'an, donde se exploran beneficios y desafíos, es decir, esta Industria promete una construcción más eficiente y conectada a medida que se superan los desafíos y se integran más tecnologías

4. Conclusiones

Las tecnologías existentes en la Industria 4.0 permiten, en el sector construcción, una mejor gestión de proyectos, la optimización de procesos de construcción, bajos costos y eficiencia operativa para materiales de calidad. La automatización y el uso de sensores contribuyen a la seguridad en los lugares de construcción, reduciendo accidentes y minimizando riesgos para los trabajadores [12]. La tecnología de la industria 4.0 permite gestionar con mayor eficiencia recursos como la energía y el agua, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. La optimización de procesos reduce el desperdicio de materiales de construcción, lo que es beneficioso tanto para la economía como para el medio ambiente. [13]. Las tecnologías de la industria 4.0 facilitan la colaboración y la comunicación entre equipos de trabajo, lo que acelera la toma de decisiones y la ejecución de proyectos. La recopilación de datos en tiempo real y el análisis predictivo permiten una planificación más precisa y una asignación de recursos más eficiente [14]. Según Klaus Schwab [15], fundador del Foro Económico Mundial, en su libro "La Cuarta Revolución Industrial", la Industria 4.0 está impulsando una profunda transformación digital de las cadenas de fabricación y suministro para mejorar la eficiencia operativa. Autores como R. Wang y K. Xu [16] en su artículo "Cyber-Physical Attacks and Defenses in the Smart Grid: A Review" advierten sobre los desafíos de ciberseguridad que la Industria 4.0 plantea, ya que la interconexión de sistemas digitales aumenta la exposición a posibles ataques cibernéticos.

En un informe de investigación de PwC [17] titulado "Industry 4.0: Building the Digital Enterprise," se concluye que la implementación de la Industria 4.0 puede generar importantes beneficios económicos, como la disminución de costos de producción y el incremento de la productividad. "La seguridad cibernética es una preocupación fundamental en la Industria 4.0, ya que la interconexión de dispositivos y sistemas expone a las empresas a riesgos de ciberataques. La gestión de la seguridad debe ser una prioridad en la implementación de la Industria 4.0" (Majumdar & Marcus, 2017) [18]. La ciberfísica, la Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y la fabricación aditiva son tecnologías clave que están impulsando la Industria 4.0. Estas tecnologías permiten una mayor automatización, conectividad y adaptabilidad en la cadena de producción (Lu et al., 2017). La Industria 4.0 traerá consigo una reconfiguración significativa de la fuerza laboral, con un énfasis en habilidades digitales y cognitivas" (World Economic Forum, 2018). El Foro Económico Mundial en su informe [19] "The Future of Jobs Report 2018" aborda cómo la automatización y la digitalización afectarán a los trabajadores y las habilidades requeridas. "La Industria 4.0 representa una transformación fundamental en la forma en que se diseñan, producen y gestionan los productos, impulsada por tecnologías digitales avanzadas. Esta revolución ofrece oportunidades significativas para mejorar la eficiencia, la personalización y la toma de decisiones en las empresas" (Kagermann

et al., 2019). [20]. “La Industria 4.0 traerá consigo una reconfiguración significativa de la fuerza laboral, con un énfasis en habilidades digitales y cognitivas” (World Economic Forum, 2018). Este mismo informe aborda cómo la automatización y la digitalización afectarán a los trabajadores y las habilidades requeridas. Estas conclusiones citadas ofrecen una visión general de la Industria 4.0, sus implicaciones y desafíos, aportando diferentes perspectivas de autores destacados en el campo. Ten en cuenta que la investigación y el debate sobre la Industria 4.0 continúan evolucionando a medida que avanza la tecnología y se acumulan más datos y evidencia empírica. En resumen, implementar en la Industria 4.0 en el sector construcción ofrece numerosas ventajas que van desde la eficiencia operativa hasta la seguridad y la sostenibilidad. Dichas ventajas posicionan a la Construcción 4.0 como un enfoque importante para el futuro de este sector.

5. Referencias bibliográficas

- [1] Macea Mercado, L., Morales, L., & Márquez Díaz, L. (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 17(2), 233-235. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.007>
- [2] Muñoz -La Rivera, F., Hermosilla, P., Delgadillo, J., & Echevarrya, D. (2021). Propuesta de construcción de competencias de innovación en la formación de ingenieros en el contexto de la industria 4.0 y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). *Formación Universitaria*, 14(2), 75-84. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062021000200075>
- [3] Anaya Díaz, J., Arias Orozco, S., & Arroyo Aguilar, C. (2020). Hábitat, vivienda y construcción 4.0 (F. J. González Madariaga, F. Córdova Canela, & J. F. Gómez Gómez, Eds.). Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño.
- [4] Vieira Graglia, M., & Lazzareschi, N. (2018). A Indústria 4.0 e o Futuro do Trabalho: Tensões e Perspectivas. *Revista Brasileira De Sociologia - RBS. Revista Brasileira de Sociologia*, 6(14). <https://doi.org/10.20336/rbs.424>
- [5] Barbieri Ferrerira, M., & Neris Paulista, C. (2020). Uma avaliação dos impactos da Indústria 4.0 sobre o setor aeronáutico. *Revista Brasileira de Inovação*, 19, 1-31. <https://doi.org/10.20396/rbi.v19i0.8658722>
- [6] Oesterreich, T., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- [7] Safura Zabidin, N., & Belayuthan, S. (2020). A bibliometric and scientometric mapping of industry 4.0 in construction. *Journal of Information Technology in Construction*, 25, 287-307. <https://dx.doi.org/10.36680/j.itcon.2020.017>
- [8] Ibrahim, F., Esa, M., & Rahman, R. (2021). The Adoption of IOT in the Malaysian Construction Industry: Towards Construction 4.0. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 12(1), 56-67. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2021.12.01.006>
- [9] Sajjad, M., Hu, A., Waqar, A., Idris Falqi, I., Alsulamy, S., Bageis, A., & Mohammed, A. (2023). Evaluation of the Success of Industry 4.0 Digitalization Practices for Sustainable Construction Management: Chinese Construction Industry. *Buildings*, 13(7), 1668. <https://doi.org/10.3390/buildings13071668>
- [10] Maskuriy, R., Selamat, A., Nita Ali, K., Maresova, P., & Krejcar, O. (2019). Industry 4.0 for the Construction Industry—How Ready Is the Industry? *Applied sciences*, 9(14), 2-26. <https://doi.org/10.3390/app9142819>
- [11] You, Z., & Un Feng, L. (2020). Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System. *IEEE Access*, 8, 122908-122922. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007206>
- [12] McKinsey&Company. (2016). Imagining construction’s digital future. Global Editorial Services. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/imagining%20constructions%20digital%20future/imagining-constructions-digital-future.pdf>

- [13]Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Murkherjee, M., & Yin, B. (2018). Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access*, 6, 6505-6519,. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682>
- [14]Ding, K., Hui, J., Liu, Y., Zhu, B., Zhang, F., & Cao, W. (2018). Smart steel bridge construction enabled by BIM and Internet of Things in industry 4.0: A framework. *IEEE 15th International Conference on Networking*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2018.8361339>
- [15]Bilal, M., Oyedele, L., Qadir, J., Munir, K., Ajayi, S., Akinade, O., Owolabi, H., & Alaka, H. (2016). Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 500-521. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.07.001>
- [16]Dallasega, P., Rauch, E., & Linder, C. (2018). Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 99, 205-225. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039>
- [17]Oesterreich, T., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- [18]Colombo, A., Karnouskos, S., Kaynak, O., Shi, Y., & Yin, S. (2017). Industrial Cyberphysical Systems: A Backbone of the Fourth Industrial Revolution. *ICPS*, 11(1). <https://doi.org/10.1109/MIE.2017.2648857>
- [19]Kajati, E., Papcun, P., Liu, C., Zhong, R., Koziorek, J., & Zolotova, I. (2019). Cloud based cyber-physical systems: Network evaluation study. *Advanced Engineering Informatics*, 42, 100988. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100988>
- [20]Leitão, P., Colombo, A., & Karnouskos, S. (2016). Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges. *Computers in Industry*, 81, 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.08.004>