

Artículo de Investigación

Inteligencia artificial en la gestión de proyectos: caso construcción y obra civil

Artificial intelligence in project management: case of construction and civil works

María Jaimes-Quintanilla¹: Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia.

maria.jaimes.q@uniminuto.edu

Sergio Zabala-Vargas: Corporación Universitaria Minuto de Dios, Colombia.

sergio.zabala@uniminuto.edu

Fecha de Recepción: 05/06/2024

Fecha de Aceptación: 15/10/2024

Fecha de Publicación: 16/10/2024

Cómo citar el artículo:

Jaimes-Quintanilla, María y Zabala-Vargas, Sergio. (2024). Inteligencia artificial en la gestión de proyectos: caso construcción y obra civil [Artificial intelligence in project management: case of construction and civil works]. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-21. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1615>

Resumen:

Introducción: El presente documento relaciona una investigación con el objetivo establecer los niveles de apropiación de tecnologías emergentes, principalmente inteligencia artificial, en la gestión de proyectos del sector de la construcción. **Metodología:** Se llevó a cabo una investigación cuantitativa centrada en una revisión de literatura internacional y la determinación del nivel de madurez tecnológica en la gestión de proyectos en el sector en Colombia. Se contó con la participación de 97 empresas. **Resultados:** Los resultados muestran alto interés del sector productivo y de la comunidad académica en el uso de inteligencia artificial en la gestión de proyectos, priorizando áreas como costos, calidad, tiempos, alcance y riesgos. La incorporación de software con IA, LLM (Large Language Models) y procesamiento de grandes datos son priorizados. **Discusión:** Los resultados son consecuentes con una temática de interés incremental en la comunidad académica. Se viene desarrollando ampliamente los conceptos a nivel internacional y se proyecta consolidación en Colombia. **Conclusiones:** El sector de la construcción Colombia tiene un importante camino en la incorporación de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial), sin embargo, existe el interés y disposición para realizarlo y aplicarlos en sus diferentes ciclos de vida de proyecto.

¹ Autor Correspondiente: María Jaimes-Quintanilla. Corporación Universitaria Minuto de Dios, (Colombia).

Palabras clave: gestión de proyectos; inteligencia artificial; sector construcción; obras civiles; cadena de valor; revisión sistemática; gestión de costos; gestión de tiempos.

Abstract:

Introduction: This paper relates a research with the objective of establishing the levels of appropriation of emerging technologies, mainly artificial intelligence, in project management in the construction sector. **Methodology:** Quantitative research was carried out focused on a review of international literature and the determination of the level of technological maturity in project management in the sector in Colombia. A total of 97 companies participated. **Results:** The results show a high interest of the productive sector and the academic community in the use of artificial intelligence in project management, prioritizing areas such as costs, quality, time, scope and risks. The incorporation of software with AI, LLM (Large Language Models) and big data processing are prioritized. **Discussion:** The results are consistent with a topic of increasing interest in the academic community. The concepts are being widely developed internationally and consolidation is projected in Colombia. **Conclusions:** The construction sector in Colombia has an important path in the incorporation of emerging technologies (artificial intelligence), however there is interest and willingness to do so and apply them in their different project life cycles.

Keywords (ever 8 words): project management; artificial intelligence; construction sector; civil works; value chain; systematic review; cost management; time management.

1. Introducción

La industria de la construcción es uno de los sectores con mayor impacto en la economía colombiana. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, este renglón de la economía en el año 2022 (tercer trimestre del año) aportó cerca del 14% del Producto Interno Bruto del país; empleando a más de 1.700.000 personas en todo el territorio nacional (Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2022). Ahora bien, se indica en Project Management Institute (2017) que la gestión de proyectos tiene múltiples retos, tales como: problemas de comunicación, afectación del alcance, incumplimiento de objetivos, inadecuada gestión de riesgos, entre otros.

Entre los aspectos más importantes a considerar dentro de los problemas en la gestión de proyectos se encuentra: 1) Problemas en la planeación y estimación de recursos: La planeación en el sector de la construcción a menudo enfrenta dificultades debido a la falta de evaluación detallada de los recursos y una estimación incorrecta de los tiempos y costos necesarios para completar los proyectos (Cooke y Williams, 2013; Loyola, 2018); 2) Fallas de comunicación entre partes interesadas: La comunicación entre los diferentes actores de un proyecto de construcción –contratistas, proveedores, clientes y equipos de proyecto– es crucial para el éxito del mismo. Sin embargo, las fallas de comunicación son comunes y pueden llevar a malentendidos significativos y errores en la ejecución de las obras (Akbari *et al.*, 2018; Cooke y Williams, 2013); 3) Gestión imprecisa del alcance del proyecto: Uno de los desafíos más críticos en la gestión de proyectos de construcción es la incorporación de cambios no autorizados y la falta de claridad en la inclusión *rade* aspectos claves del proyecto. Estos problemas pueden derivar en expansiones del alcance que no fueron presupuestadas ni planificadas, complicando la entrega final y afectando la rentabilidad (Lester, 2013) y 4) Problemas en el control de costos: El control de costos es una dificultad persistente en la construcción. Proyectos que exceden los presupuestos originales son una norma debido a malas estimaciones iniciales, inflación de precios y otros factores económicos externos que pueden alterar los costos proyectados (Netscher, 2014).

Estos retos en la gestión de la información de los proyectos, especialmente en el manejo de grandes volúmenes de datos, la predicción de información y las estrategias para darles sentido, se han abordado con herramientas emergentes como: A-) Big-Data, entendido como el manejo de grandes volúmenes de datos (captura, gestión, almacenamiento y análisis) para generar información relevante y consolidar la interoperabilidad de los datos (Chang y Grady, 2019; Gupta y Rani, 2019), B-) Data Analytics (también llamada Data Science), orientada a la toma de decisiones a partir de la extracción de información de grandes volúmenes de datos, determinando patrones y tendencias (Haider, 2015; Kelleher y Tierney, 2018) y C-) Inteligencia Artificial (IA), como la estrategia basada en algoritmos que permite a las máquinas (desde un entendimiento amplio de dicha definición) realizar procesos, tomar decisiones y en general emular el cerebro humano (Boden, 2017; Rouhiainen, 2018).

Dentro del contexto de la investigación, en Colombia se han planteado algunas estrategias para la modernización del sector de la construcción, entre ellas la Estrategia Nacional BIM 2020-2026 (Gobierno Nacional de Colombia, 2020); enfocada en el uso de la metodología Building Information Modeling (BIM) como sistema de gestión de la construcción. Existen diversas referencias en otros países que son de interés para la investigación (Huang *et al.*, 2021; Wu y AbouRizk, 2023; Zhang *et al.*, 2017).

Todos estos factores han motivado la presente investigación, que busca el reconocimiento de las tecnologías emergentes (principalmente la inteligencia artificial) para mejorar la gestión de proyectos en el sector de la construcción; partiendo de un reconocimiento del estado de arte de la temática a nivel mundial y conectándolo con la realidad de incorporación tecnológica (madurez de transformación digital) del sector (Wu y AbouRizk, 2021).

2. Objetivo de la investigación

La presente investigación hace parte del proyecto titulado *Inteligencia artificial, big-data y ciencia de datos para la optimización de la gestión de proyectos en el sector de la construcción en Colombia-Etapa de consolidación*; financiado por la Corporación Universitaria Minuto de Dios (universidad privada en Colombia). Particularmente este artículo presenta como objetivo el poder establecer un conjunto de estrategias y recomendaciones para la incorporación de tecnologías emergentes (inteligencia artificial) en la gestión de proyectos de construcción y obra civil; orientado a optimizar la administración, facilitar la toma de decisiones organizacionales y fomentar la sostenibilidad. Para el cumplimiento de este objetivo, se propone diagnosticar el estado actual de la implementación de tecnologías emergentes, particularmente la inteligencia artificial, en la gestión de proyectos a nivel mundial; esto a partir de revisión de literatura y análisis bibliométrico. Luego de esto, establecer el nivel de madurez de apropiación de estas tecnologías, y en general de transformación digital, de las empresas del sector de la construcción asociado a la gestión de proyectos en Colombia. Con estos elementos poder presentar un panorama inicial de estrategias y recomendaciones para la implementación de tecnologías emergentes en la gestión de proyectos en Colombia; que se pueda convertir en un referente de interés del aparato productivo asociado al sector de la construcción y obra civil.

3. Marco teórico

El soporte teórico y conceptual de esta propuesta se centra en dos grandes áreas: la gestión de proyectos de construcción y las tecnologías emergentes. Estos temas serán desarrollados con detalle a continuación:

3.1. Retos en la gestión de Proyectos de construcción

La gestión de proyectos se orienta a la administración de emprendimientos (iniciativas) con características finitas y objetivos plenamente establecidos, los que al ser cumplidos determinan la finalización de estos (proyectos). Esto también se comprende desde la lógica de aplicar e integrar procesos específicos para el desarrollo de un proyecto de forma eficaz y eficiente (Lledó, 2013; Mulcahy, 2009). Particularmente cuando se hace referencia a la gestión de proyectos de construcción se advierte un alto grado de complejidad y un volumen de datos bastante amplio fruto de la planeación, la ejecución y el seguimiento de estos.

Entre los aspectos más relevantes se encuentran:

- **Tiempos ajustados:** Suelen tener plazos ajustados y con alta incertidumbre, muchas veces por efectos de permisos de construcción, restricciones del contexto, factores climáticos, entre otros.
- **Presupuestos:** Existen grandes retos en la planificación del presupuesto y en la determinación real de costos, así como en mantener el proyecto dentro de los valores establecidos en línea base.
- **Riesgos:** La identificación y gestión de riesgos en proyectos de construcción es una tarea bastante retadora. Entre los retos más importantes están los cambios de requisitos, problemas de calidad, retrasos en entregas de materiales, accidentes del personal, entre otros.
- **Cambios en los diseños:** Es muy común que suceda esta situación, ya que los diseños muchas veces cambian por nuevas especificaciones, imprevistos en el desarrollo, necesidades cambiantes, entre otros.
- **Regulaciones y sostenibilidad:** En la actualidad, la sostenibilidad y el cumplimiento de las regulaciones medioambientales son consideraciones clave en la construcción de proyectos. La gestión de proyectos en este sector implica asegurarse de que se cumplan todas las regulaciones pertinentes y que se implementen prácticas sostenibles durante todo el proceso de construcción (Lester, 2013).

3.2. La inteligencia artificial y el sector de la construcción

La inteligencia Artificial se considera un paradigma, basado en algoritmos, que permite que las máquinas (desde una comprensión amplia de dicha definición) puedan realizar procesos, tomar decisiones y en general emular el cerebro humano (Boden, 2017; Rouhiainen, 2018). Existen diferentes enfoques y aplicaciones de la inteligencia artificial, como el procesamiento del lenguaje natural, la visión por computadora, los sistemas expertos, la robótica y el reconocimiento de voz. Estos sistemas pueden llevar a cabo tareas como el reconocimiento de imágenes, la traducción automática, la conducción autónoma, el diagnóstico médico, la asistencia virtual y muchas otras aplicaciones (Boden, 2017). Uno de los beneficios de la Inteligencia Artificial en la gestión de proyectos es la capacidad de procesar grandes cantidades de datos y extraer información valiosa para hacer sugerencias al usuario. Los algoritmos que aquí se utilizan pueden analizar patrones históricos, identificar tendencias y hacer predicciones sobre el rendimiento del proyecto. Esto ayuda a los administradores de proyectos a tomar decisiones informadas y ajustar la planificación y asignación de recursos en

tiempo real (Darko *et al.*, 2020; Russell, 2010; Zandi *et al.*, 2021).

Particularmente en el sector de la construcción, obras civiles y arquitectura se ha venido utilizando, en múltiples aplicaciones, la inteligencia artificial. En este punto surge el término de Inteligencia artificial conversacional, cuyo objetivo es potenciar la interacción que existe entre la persona y los sistemas de cómputo con bases de conocimiento especializadas (Saka *et al.*, 2023). Este tipo de estrategia trata de utilizar agentes, basados en inteligencia artificial, para gestionar a partir del texto o el habla interacciones con el ser humano; simulando y automatizando conversaciones. Estos elementos se articulan como una evolución del Procesamiento de Lenguaje Natural (PNL), que ha revolucionado la forma de interacción con los equipos de cómputo. El sector de la construcción puede beneficiarse ampliamente de la aplicación de estos sistemas, tanto en el modelo de negocio como en la gestión de proyectos; orientado a potenciar la productividad del sector. Un factor de alto interés para la investigación es el fomento de la fiabilidad en estas herramientas, y de aquí surge otra noción importante como es el Trustworthy AI, es decir la confianza que se puede tener en las herramientas de inteligencia artificial que no sean influenciadas de tal manera que afecte la calidad de su interacción (Emaminejad y Akhavian, 2022). De otra parte, al interior de la inteligencia artificial aparece el concepto de “Machine Learning” o aprendizaje automático, como un subcampo que proporciona a las máquinas la capacidad de aprender sin que sean programadas de manera explícita para seguir determinadas reglas; sino que lo hacen de forma automática, con lo que es posible llegar a desarrollar algoritmos de predicción que encuentran patrones y tendencias y construir modelos de clasificación y predicción. Tales algoritmos se clasifican en su taxonomía en tres grupos: Aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y “Reinforcement Learning”. El primero refiere a los datos que tienen la información deseada, el segundo grupo a los que no tienen etiquetas y el Último grupo, a los que generan patrones por esfuerzo de prueba y error. Un caso particular del Machine Learning son las redes neuronales artificiales, que observadas dentro de lo que se llama el “aprendizaje profundo” permiten construir modelos con múltiples capas de procesamiento que aprenden varios niveles de abstracción.

Una herramienta particular y muy importante para el proyecto son los LLM (Large Language models). Estos son modelos de lenguaje desarrollados mediante el uso de inteligencia artificial y aprendizaje automático; y están diseñados para procesar y generar texto en lenguaje natural de manera autónoma, basándose en grandes cantidades de datos previamente analizados. Su objetivo principal es entender y producir texto de manera similar a como lo haría un ser humano (Brown *et al.*, 2020). Entre los aspectos más importantes de los LLM está la capacidad para adaptarse a contextos y tareas; lo cual es muy útil si se están abordando temáticas tan diversas como las tratadas en la gestión de proyectos (dentro de su ciclo de vida y de las diferentes áreas que lo conforman). Estos modelos se han convertido en una herramienta muy popular para la atención a consultas, el procesamiento de lenguaje, la traducción automática, entre otros (Dai *et al.*, 2019). Los LLM más populares al momento de la preparación de este marco son: GPT 3.5/4.0 (Open AI), Gemini (Google), LLaMA (Meta), Falcon (Hugging Face), Cohere (Cohere), entre otros. Cada uno de estos LLM está orientado para la comprensión y producción de textos, con características de aprendizaje automático, generación de texto coherente, transferencia de conocimiento y altos niveles de escalabilidad.

4. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación, el paradigma seleccionado fue el cuantitativo. El procedimiento realizado se divide en dos grandes áreas: un análisis bibliométrico de la temática específica, para determinar la apropiación de la inteligencia artificial en la gestión de proyectos; y la segunda parte la caracterización de 97 empresas del sector de la construcción en Colombia, respecto al nivel de apropiación de inteligencia artificial en el contexto.

4.1. Revisión de literatura

Para esta investigación se ha recurrido al índice bibliográfico Scopus para analizar las publicaciones más relevantes sobre el tema. Los pasos llevados a cabo para el desarrollo de esta sección fueron:

4.1.1. Preguntas de investigación

El primer paso fue la definición de la pregunta (s) centrales de investigación. Las relacionadas para la revisión fueron las siguientes: ¿Cómo se ha implementado la inteligencia artificial en la gestión de proyectos en el área de obras civiles y construcción?; ¿Cuáles son los países y las afiliaciones con mayor dinámica de publicación en el área de interés?; ¿Cuáles son las metodologías de investigación más utilizadas en los registros resultado de la revisión? y ¿Cuáles son las áreas de conocimiento más populares en la incorporación de tecnologías emergentes?.

4.1.2. Bases de datos, términos de búsqueda (ecuación) y criterios de inclusión

Para llevar a cabo la revisión se consideró específicamente el índice bibliográfico Scopus. La ecuación de búsqueda utilizada fue:

("project management" OR "project administration") AND ("Artificial Intelligence")
AND ("buildings" OR "civil engineer*" OR architecture OR "facility management")

La temporalidad considerada para la revisión es 2017-2024. Los tipos de documentos seleccionados son artículos científicos, comunicaciones en conferencias, revisiones de literatura y capítulos de libro.

4.1.3. Análisis bibliométrico

En cuanto al análisis bibliométrico se consideran los siguientes aspectos: Publicaciones por año, publicaciones por país, principales filiaciones institucionales, principales autores de referencia y mapa de coautorías por países.

4.1.4. Breve análisis categorial

En este apartado se realizó un análisis categorial en función de las metodologías de investigación más utilizadas, las áreas de conocimiento del PMI donde más impacto tiene la inteligencia artificial y los principales aportes que se pueden contar para la gestión de proyectos.

4.2. Medición de nivel de madurez tecnológica en las empresas del sector construcción

Para esta investigación se aplicó una encuesta de 29 preguntas a 97 empresas vinculadas al sector de la construcción y obra civil. El instrumento es una adaptación de la Herramienta de autodiagnóstico Digital Avanzada -HADA (Secretaría General de Industria y de la pyme, 2022) y del instrumento Awareness/Readiness tool (Interreg - North Sea Region - European Regional Development Fund, 2021). Este fue validado por cinco (5) expertos en el tema de la innovación tecnológica y la industria 4.0. La encuesta (instrumento) consta de las siguientes preguntas:

4.2.1. Preguntas modelo de negocio

Consta de siete (7) preguntas en escala Likert de cinco niveles (Nulo, Existe la iniciativa, en desarrollo, en implementación y en acción). Las preguntas son:

- P1. Cuenta con indicadores para medir nivel de la transformación digital.
- P2. Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.
- P3. Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).
- P4. Cuenta con estrategia de transformación digital formulada desde la alta dirección.
- P5. Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.
- P6. Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.
- P7. Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).

4.2.2. Preguntas inversión futura en campos tecnológicos

Se relacionan tres (3) preguntas en escala Likert de cuatro niveles (Nula inversión, pequeña inversión, mediana inversión y gran inversión). Las preguntas son:

- P8. Nivel de inversión próximos 5 años- Investigación y Desarrollo
- P9. Nivel de inversión próximos 5 años- Sistemas de información
- P10. Nivel de inversión próximos 5 años-Producción de productos o servicios.

4.2.3. Preguntas relación con clientes

Se presentan cuatro (4) preguntas en escala Likert de cuatro niveles (No se realiza, en algunos casos, en la mayoría de los casos y se realiza permanentemente). Las preguntas son:

- P11. Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de proveedores.
- P12. Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de clientes.
- P13. Analiza información de sus clientes para generar o mejorar productos o servicios.
- P14. Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus clientes.

4.2.4. Preguntas uso de tecnologías en la organización

Se presentan una (1) pregunta asociada al uso de tecnologías en la organización con las siguientes nueve (9) opciones:

- Dispositivos móviles
- Las tecnologías de la nube como infraestructura de TI escalable.
- Sistemas de localización en tiempo real.
- Sensores.
- Sistemas de tecnologías de la información integrados.
- Big Data para almacenamiento de grandes volúmenes de datos.
- Ciencia de datos para evaluación de información en tiempo real.
- Inteligencia artificial para la toma de decisiones.
- Identificador de radiofrecuencia – RFID.

4.2.5. Preguntas evaluación de capacidades de los empleados

Se presentan siete (7) preguntas asociadas al tema con escala Likert de cuatro (4) opciones (Irrelevante/no aplica, no capacitado, capacitado, pero no lo suficiente y capacitado suficiente y constantemente). Las temáticas son:

- P16. Tecnología de automatización.
- P17. Análisis de datos.
- P18. Seguridad de los datos.
- P19. Seguridad de las comunicaciones.
- P20. Infraestructura.
- P21. Software de colaboración.
- P22. Habilidades no técnicas, como el pensamiento sistémico y la comprensión de procesos.

4.2.6. Preguntas nivel de importancia de las tecnologías 4.0 en la organización

Se presentan seis (6) preguntas asociadas al tema con escala Likert de cinco (5) opciones (Sin importancia, importancia baja, importancia media, importancia alta e importancia muy alta). Las tecnologías relacionadas son:

- P23. Inteligencia artificial.
- P24. Big data y análisis de datos.
- P25. Ciberseguridad.
- P26. Tecnologías en la nube (Cloud).
- P27. Marketing digital.
- P28. Robótica y automatización.

4.2.7. Pregunta sobre ambición estratégica sobre las tecnologías o industria 4.0

La pregunta final se asocia a P29. ¿Cuál es la ambición estratégica de la organización con respecto al paso a la Industria 4.0? Se cuenta con cuatro opciones de respuesta:

- No se ha considerado todavía. No se contemplan beneficios/oportunidades.
- Se ha considerado pasar a la Industria 4.0 pero se desconoce cómo hacerlo.
- Se conocen los beneficios de la industria 4.0 y se tiene intención de implementarla.
- Se ha iniciado el proceso de implementación de la industria 4.0.

5. Resultados

En esta sección se presentan los resultados de la propuesta metodológica de la investigación, iniciando con la revisión de literatura.

5.1. Revisión de literatura

En la ventana de observación establecida se encuentran 180 registros. De estos 72 son artículos, 71 comunicaciones de conferencia, 16 revisiones de literatura, 12 revisiones de conferencia y 6 capítulo de libro. En la

Figura 1 se presenta el número de publicaciones por año, mostrando una tendencia incremental en los últimos 7 años. Se indica que para el registro de 2024 solo se tenían 3 meses de este al momento de hacer la revisión. Continuando con los resultados bibliométricos, la Figura 2 muestra las publicaciones por países. Se resalta a China, Estados Unidos y Australia como los líderes en el tema.

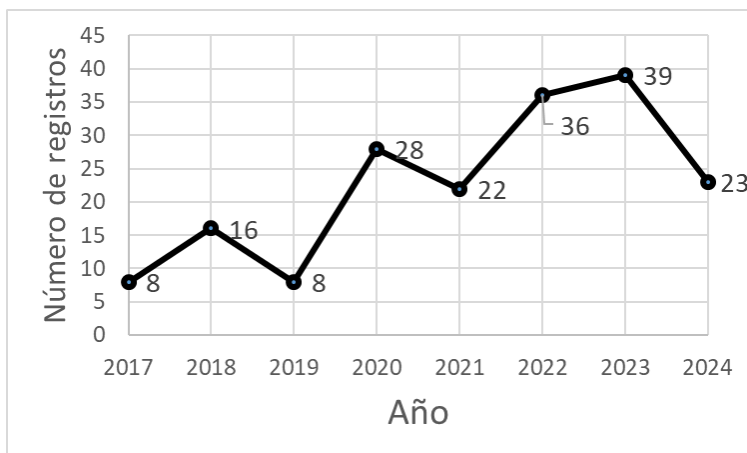
En cuanto a las afiliaciones institucionales, los primeros lugares son ocupados de la siguiente manera: The Hong Kong Polytechnic University (7 registros), University of Illinois Urbana-Champaign (4 registros), Deakin University (4 registros), Monash University (4 registros), Sapienza Università di Roma (4 registros), The Grainger College of Engineering (4 registros), National Taiwan University (3 registros) y The University of Hong Kong (3 registros). De igual forma, los autores más destacados son: Arashpour, M. (4 registros); Chan, A.P.C., Cheng, M.Y. y Golparvar-Fard, M. (3 registros) y Darko, A. (2 registros).

Ahora bien, en la

Tabla 1 se presentan los 20 trabajos más citados de la revisión. Varios de estos no solo incluyen inteligencia artificial como tecnología, sino también los conceptos de Ciencia de Datos y Big-Data. Una revisión más detallada del tema es presentada en (Zabala-Vargas, Jaimes-Quintanilla, et al., 2023; Zabala-Vargas, Jiménez-Barrera, et al., 2023).

Figura 1.

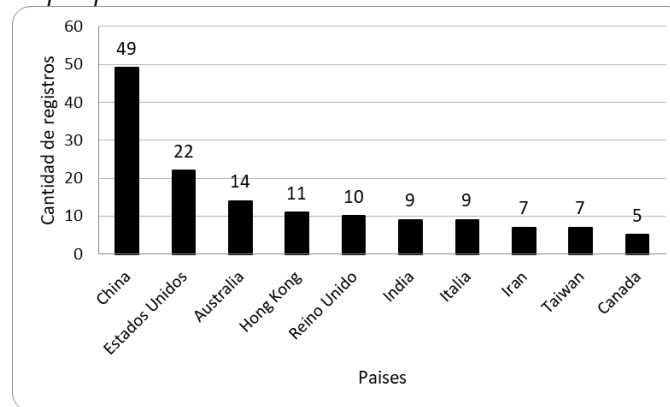
Número de publicaciones por año



Fuente: Elaboración propia (2024) basado en resultados Scopus.

Figura 2.

Número de publicaciones por países



Fuente: Elaboración propia (2024) basado en resultados Scopus.

Tabla 1.

Relación de los artículos más citados en la revisión de literatura

ID	Título	Año	Tipo	Método	Tecnología principal
1	Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities (Darko <i>et al.</i> , 2020)	2020	Revisión	Revisión de literatura	Inteligencia artificial
2	Construction with digital twin information systems (Sacks <i>et al.</i> , 2020)	2020	Artículo	Cuantitativo	Inteligencia artificial/Big Data
3	Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations (Akinosho <i>et al.</i> , 2020)	2020	Artículo	Cuantitativo	Inteligencia artificial /Big Data
4	Research trend of the application of information technologies in construction and demolition waste management (C. Z. Li <i>et al.</i> , 2020)	2020	Revisión	Revisión de literatura	Inteligencia artificial /Big Data
5	Performance-based control of variability and tolerance in off-site manufacture and assembly: optimization of penalty on poor production quality(Arashpour <i>et al.</i> , 2020)	2020	Artículo	Cualitativo	Inteligencia artificial/Ciencia de datos
6	Predicting the Volatility of Highway Construction Cost Index Using Long Short-Term Memory (Cao y Ashuri, 2020)	2020	Artículo	Cuantitativo	Inteligencia artificial
7	Knowledge-based system for resolving design clashes in building information models (Hsu <i>et al.</i> , 2020)	2020	Artículo	Cualitativo	Inteligencia artificial
8	Building a rough sets-based prediction model for classifying large-scale construction projects based on sustainable success index (Akbari <i>et al.</i> , 2018)	2018	Artículo	Cuantitativo	Inteligencia artificial/Ciencia de datos

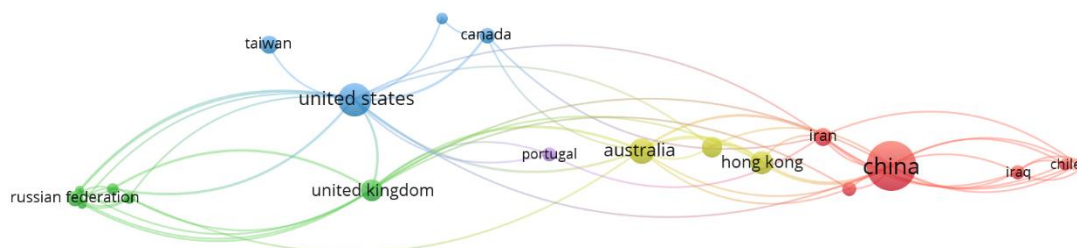
9	Estimating construction duration of diaphragm wall using firefly-tuned least squares support vector machine (Cheng y Hoang, 2018)	2018	Artículo	Cuantitativo	Inteligencia artificial
10	Options for and Challenges of Employing Digital Twins in Construction Management (Salem y Dragomir, 2022)	2022	Artículo	Cualitativo	Inteligencia artificial/Big Data/Ciencia de datos
11	Research Status and Challenges of Data-Driven Construction Project Management in the Big Data Context (Huang <i>et al.</i> , 2021)	2021	Revisión	Revisión de literatura	Inteligencia artificial/Big Data/Ciencia de datos
12	Automated Monitoring of Construction Sites of Electric Power Substations Using Deep Learning (Oliveira <i>et al.</i> , 2021)	2021	Artículo	Mixta	Inteligencia artificial/Ciencia de datos
13	Transformer machine learning language model for auto-alignment of long-term and short-term plans in construction (Amer <i>et al.</i> , 2021)	2021	Artículo	Cualitativo	Inteligencia artificial
14	The effectiveness of project management construction with data mining and blockchain consensus (W. Li <i>et al.</i> , 2021)	2021	Artículo	Mixta	Inteligencia artificial/Big Data/Ciencia de datos
15	Symbiotic organisms search-optimized deep learning technique for mapping construction cash flow considering complexity of project (Cheng <i>et al.</i> , 2020)	2020	Artículo	Cuantitativo	Inteligencia artificial/Ciencia de datos
16	Development and Application of an Industry Foundation Classes-Based Metro Protection Information Model (Zhou <i>et al.</i> , 2018)	2018	Artículo	Mixta	Inteligencia artificial/Big Data/Ciencia de datos
17	Artificial Intelligence and Robotics for Prefabricated and Modular Construction: A Systematic Literature review (Pan <i>et al.</i> , 2022)	2022	Revisión	Revisión de literatura	Inteligencia artificial
18	An intelligent fuzzy-based hybrid metaheuristic algorithm for analysis the strength, energy and cost optimization of building material in construction management (Ronghui y Liangrong, 2022)	2021	Artículo	Cuantitativo	Inteligencia artificial
19	A genetic algorithm tool for conceptual structural design with cost and embodied carbon optimization (Kanyilmaz <i>et al.</i> , 2022)	2022	Artículo	Cuantitativo	Inteligencia artificial
20	Investigation of intelligent safety management information system for nuclear power construction projects (Fang <i>et al.</i> , 2020)	2020	Artículo de conferencia	Cualitativo	Inteligencia artificial/Big Data/Ciencia de datos

Fuente: Elaboración propia (2024).

En cuanto al tipo de investigación, el 40% de los trabajos se asocian a investigaciones cuantitativas, otro 25% a las investigaciones cualitativas, 20% adicional a revisión de literatura y 15% a las investigaciones mixtas. De otra parte, la Figura 3 muestra las relaciones más importantes de coautorías por países, destacando como nodos centrales China y Estados Unidos.

Figura 3.

Mapa de coautorías por países



Fuente: Elaboración propia (2024).

Finalmente, en cuanto al aporte de la inteligencia artificial a las diferentes áreas de conocimiento, es posible afirmar que se desarrollan prioritariamente cuatro (4) áreas. La primera de estas, con un 20% de los trabajos, se orienta a mejorar la gestión de costos, principalmente en la previsión y proyección presupuestal. También se aplica la inteligencia artificial en la gestión de anomalías. El segundo puesto, con un 19% es la gestión de calidad, principalmente centrada como una estrategia para recopilar datos relacionados con la calidad de los proyectos y para identificar tendencias y áreas de mejora. La predicción, a través de la Inteligencia Artificial, de problemas potenciales mediante el análisis de datos históricos y actuales, se ha convertido en algo muy popular. De otra parte, con un 16%, se encuentra la gestión del cronograma. Los principales aspectos son la planificación automática del cronograma a partir de datos históricos de proyectos similares, incluida la secuenciación de actividades y la duración de las mismas. Finalmente, pero no menos importante, está la gestión del alcance con un 14%. En esta, las principales aportaciones evidenciadas es el uso de la ciencia de datos para analizar datos históricos y facilitar así la definición de objetivos y la planificación de proyectos en general. También hay ejemplos del uso de inteligencia artificial que, mediante modelos predictivos, permite anticipar desviaciones en el alcance del proyecto, facilitando la toma de decisiones. Otros artículos citan cómo se utiliza la Inteligencia Artificial para adaptar las estrategias de gestión del alcance a las necesidades específicas de cada proyecto. Detalles de estos aspectos se encuentran principalmente en (Akbari *et al.*, 2018; Akinosho *et al.*, 2020; Bilal *et al.*, 2013; Chenya *et al.*, 2022; Edayadiyil y Greeshma, 2022; Pospieszny *et al.*, 2018; Ronghui y Liangrong, 2022).

5.2. Nivel de madurez-Resultados preliminares

En las dimensiones encuestadas en este proyecto, y presentadas previamente en la metodología, se pueden destacar los siguientes resultados, presentados en tablas de frecuencia. En cada una de las tablas se marca el estadístico moda, como referencia del resultado. En la Tabla 2 se presentan los resultados del modelo de negocio.

Tabla 2.
Relación de resultados modelo de negocio

Preguntas	Nulo	Existe la iniciativa	En desarrollo	En implementación	En acción
P1. Cuenta con indicadores para medir nivel de la transformación digital.	37%	15%	14%	12%	21%
P2. Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.	9%	41%	13%	12%	24%
P3. Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).	38%	20%	11%	8%	23%
P4. Cuenta con estrategia de transformación digital formulada desde la alta dirección.	34%	23%	14%	12%	16%
P5. Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.	4%	22%	21%	11%	42%
P6. Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.	16%	19%	24%	12%	29%
P7. Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).	16%	18%	24%	14%	28%

Fuente: Elaboración propia (2024).

Es posible destacar que un alto porcentaje de las empresas (37%) no cuenta con indicadores para medir la transformación digital, así como existe un nivel bajo de interés para capacitar a sus colaboradores en el tema (50% combinando Nulo y existe la iniciativa). Otro aspecto importante es que cerca del 58 % (combinando nuevamente Nulo y Existe la iniciativa) declara que sus productos integran tecnologías emergentes; siendo un porcentaje reducido el que declara que lo tiene en marcha. Una consideración de este primer conjunto de preguntas es que las empresas (considerando el estadístico moda) identifican la importancia de la innovación y el desarrollo tecnológico en el crecimiento de las empresas; sin embargo, no destacan en un alto porcentaje tener protocolos claros para la incorporación de la misma. En cuanto a los intereses de inversión de las organizaciones en los últimos años. Se resalta que existe un importante interés de investigación en nuevos productos y servicios, seguido de sistemas de información y en menor medida en procesos de investigación y desarrollo. Esta última dimensión es la que tiene menor porcentaje de interés por parte de las empresas. Respecto a la relación con los clientes y la incorporación de tecnologías la dispersión de los datos es alta. Respecto a la gestión de proveedores, se encuentra que en un 43% esto se realiza solo en algunos casos; no siendo entonces un protocolo estandarizado. Algo similar ocurre con la gestión de los clientes, donde solo un 19% presenta que se realiza de forma permanente. Vale la pena citar que en la mayoría de los casos se utiliza información de clientes para mejorar los productos existentes, y que se suele presentar (de forma permanente) la integración de canales para las comunicaciones. Estos resultados se sintetizan en la Tabla 3.

Tabla 3.
Uso de tecnologías en la relación con clientes (stakeholders)

Preguntas	No se realiza	En algunos casos	En la mayoría de los casos	Se realiza permanentemente
P11. Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de proveedores.	12%	43%	23%	22%
P12. Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de clientes.	14%	40%	27%	19%
P13. Analiza información de sus clientes para generar o mejorar productos o servicios.	14%	26%	32%	28%
P14. Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus clientes.	14%	23%	29%	34%

Fuente: Elaboración propia (2024).

Otro punto clave de la encuesta se asocia a la capacitación del personal colaborador de las organizaciones, principalmente sobre temáticas que incorporan tecnología. Los resultados son presentados en la

Tabla 4. Lo primero a destacar es que, en todas las temáticas relacionadas en la encuesta, la moda estadística se encuentra en la categoría: Capacitado, pero no lo suficiente; lo que permite evidenciar que los empresarios resaltan la importancia, de forma indirecta de las tecnologías, pero también la falta de inversión en entrenamiento para sus equipos. Incluso, en cerca de un 30% a 40% el personal no se encuentra capacitado o es irrelevante para la organización.

Tabla 4.

Capacitación de colaboradores en nuevas tecnologías

Preguntas	Irrelevante / no aplica	No capacitado	Capacitado, pero no lo suficiente	Capacitado suficiente y constantemente
P16. Tecnología de automatización.	6%	32%	38%	23%
P17. Análisis de datos.	6%	26%	43%	24%
P18. Seguridad de los datos.	8%	27%	38%	25%
P19. Seguridad de las comunicaciones.	9%	27%	37%	25%
P20. Infraestructura.	14%	22%	36%	28%
P21. Software de colaboración.	12%	22%	40%	26%
P22. Habilidades no técnicas, como el pensamiento sistémico y la comprensión de procesos.	13%	26%	33%	28%

Fuente: Elaboración propia (2024).

Respecto a las tecnologías de mayor interés para el sector de la construcción en Colombia, se ha realizado una ponderación de las respuestas con las categorías más altas. La relación fue 50% a Importancia muy alta, 30% a Importancia alta y 20% a Importancia media. Con esa figura de mérito el orden de mayor interés es: Tecnologías en la nube: 0,29; Marketing digital: 0,28; Ciberseguridad: 0,27; Big Data y análisis de datos: 0,25; Robótica y automatización: 0,23 e Inteligencia artificial: 0,22. Finalmente, a la pregunta ¿Cuál es la ambición estratégica de la organización con respecto al paso a la Industria 4.0?; las respuestas fueron: No se ha considerado todavía. No se contemplan beneficios/oportunidades: 38%; Se ha considerado pasar a la Industria 4.0 pero se desconoce cómo hacerlo: 20%; Se conocen los beneficios de la industria 4.0 y se tiene intención de implementarla: 29%; Se ha iniciado el proceso de implementación de la industria 4.0: 12%. Los anteriores resultados muestran que aún en el sector de la construcción hay un bajo interés sobre las tecnologías asociadas a la Industria 4.0, y entre esas la inteligencia artificial. Incluso, si bien se declara por un 29% de las empresas que reconocen los posibles beneficios, la implementación se encuentra en fase de intención inicial.

6. Discusión y aportes

La presente investigación evidencia varios aspectos importantes. El primero de estos es que existe una fuerte base conceptual e investigativa, en el estado de arte, que demuestra el incremento de las aplicaciones de inteligencia artificial y otras tecnologías emergentes en la gestión de proyectos. Investigaciones como las mostradas por (Akbari *et al.*, 2018; Akinosho *et al.*, 2020; Cao y Ashuri, 2020; Darko *et al.*, 2020; C. Z. Li *et al.*, 2020; Sacks *et al.*, 2020; Salem y Dragomir, 2022). De estas, y otras investigaciones, es posible extraer que las principales aplicaciones de la inteligencia artificial a la gestión de proyectos se encuentran las siguientes (Darko *et al.*, 2020; Pan *et al.*, 2022; Saka *et al.*, 2023; Zabala-Vargas *et al.*, 2023):

- Optimización en la planificación y programación de proyectos, utilizando algoritmos de inteligencia artificial de distintas fuentes.
- Incorporar LLM como Chat-Gpt, Gemini, entre otros; para la generación de líneas base de conocimiento en diferentes áreas de trabajo en proyectos. En este proceso aprovechar las ventajas del lenguaje natural en la gestión de conocimiento.
- Identificación de las tareas más críticas y posible asignación de recursos mediante algoritmos de inteligencia artificial.
- Detección temprana de problemas que pueden convertirse en riesgos mediante el análisis de datos y la incorporación de algoritmos predictivos.
- Mejora de la toma de decisiones, permitiendo la identificación de patrones y tendencias del proyecto. Es un excelente apoyo para que los gestores de proyectos seleccionen rutas basándose en información detallada.
- Automatización en el desarrollo de tareas repetitivas para mejorar la eficiencia y reducir los errores humanos. Esto se asocia a la ejecución de una planificación estratégica más adecuada, y ahorra tiempo y esfuerzo.
- Comunicación entre los miembros del equipo, proporcionando herramientas y plataformas para compartir información, gestionar tareas y fomentar una comunicación eficaz. Esto también parece ser una tendencia para desarrollar grupos de proyecto en diferentes lugares.

De otra parte, la medición del nivel de madurez en la transformación digital de las empresas del sector de la construcción en Colombia evidencia varios resultados importantes:

- Existe un reconocimiento del sector construcción en Colombia a las nuevas tecnologías

que puedan aportar a la competitividad y productividad del sector, sin embargo, los niveles de transformación digital, la forma de medirlo y las capacidades desarrolladas al interior de las organizaciones aún se encuentran en niveles bajos. Esto ya era expuesto previamente en el desarrollo de (Zabala-Vargas *et al.*, 2023).

- En cuanto a las proyecciones de inversión en el futuro reciente la prioridad para las organizaciones sigue siendo a los productos y servicios que actualmente desarrollan, siendo en menor medida el interés de invertir en investigación, desarrollo e innovación. Esto no se aleja mucho de lo expuesto en la revisión de (Darko *et al.*, 2020).
- Existe un reconocimiento a las tecnologías como transformadores de la productividad, sin embargo, las denominadas emergentes (inteligencia artificial, big-data y ciencia de datos) no se encuentran en los primeros lugares de interés. Esto conecta también con la declaración de que ubica la puesta en marcha de una transformación digital real en el sector en un 12%. Estos resultados se encuentra en coherencia con lo expuesto por autores como (Akbari *et al.*, 2018; Akinosho *et al.*, 2020; Arashpour *et al.*, 2020).

7. Conclusiones

En conclusión, la presente investigación evidencia un alto interés de la comunidad científica y empresarial en el uso de nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial, en la gestión de proyectos; esto aprovechando las potencialidades para predicciones en tiempo real, estimaciones, automatización de procesos, entre otros. Para el caso del sector de la construcción y obra civil en Colombia se encuentran bajos niveles de incorporación de estas tecnologías en la administración de los proyectos, principalmente utilizando estrategias tecnológicas para fases de diseño (como es el caso del uso de BIM), y con menos impacto en la fase constructiva. Queda entonces un camino importante por recorrer en el sector, desarrollando nuevas capacidades, habilidades y estrategias para innovar tecnológicamente en el sector: apropiando y desarrollando soluciones a partir no solo de la adquisición, sino de la investigación y el desarrollo propio; así como la capacitación del recurso humano asociado al tema.

6. Referencias

- Akbari, S., Khanzadi, M. y Gholamian, M. R. (2018). Building a rough sets-based prediction model for classifying large-scale construction projects based on sustainable success index. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(4), 534-558. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2016-0110>
- Akinosho, T. D., Oyedele, L. O., Bilal, M., Ajayi, A. O., Delgado, M. D., Akinade, O. O. y Ahmed, A. A. (2020). Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations. *Journal of Building Engineering*, 32, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101827>
- Amer, F., Jung, Y. y Golparvar-Fard, M. (2021). Transformer machine learning language model for auto-alignment of long-term and short-term plans in construction. *Automation in Construction*, 132, 103929. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103929>
- Arashpour, M., Heidarpour, A., Akbar Nezhad, A., Hosseinifard, Z., Chileshe, N. y Hosseini, R. (2020). Performance-based control of variability and tolerance in off-site manufacture and assembly: Optimization of penalty on poor production quality. *Construction Management and Economics*, 38(6), 502-514. <https://doi.org/10.1080/01446193.2019.1616789>

- Bilal, S. M., Bernardos, C. J. y Guerrero, C. (2013). Position-based routing in vehicular networks: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 36(2), 685-697. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2012.12.023>
- Boden, M. A. (2017). *Inteligencia artificial*. Turner.
- Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G. y Askell, A. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in neural information processing systems*, 33, 1877-1901.
- Cao, Y. y Ashuri, B. (2020). Predicting the Volatility of Highway Construction Cost Index Using Long Short-Term Memory. *Journal of Management in Engineering*, 36(4), 04020020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000784](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000784)
- Chang, W. y Grady, N. (2019, octubre 21). *NIST Big Data Interoperability Framework: Volume 1, Definitions. Special Publication (NIST SP)*. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1500-1r2>
- Cheng, M.-Y., Cao, M.-T. y Herianto, J. G. (2020). Symbiotic organisms search-optimized deep learning technique for mapping construction cash flow considering complexity of project. *Chaos, Solitons & Fractals*, 138, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.109869>
- Cheng, M.-Y. y Hoang, N.-D. (2018). Estimating construction duration of diaphragm wall using firefly-tuned least squares support vector machine. *Neural Computing and Applications*, 30(8), 2489-2497. <https://doi.org/10.1007/s00521-017-2840-z>
- Chenya, L., Aminudin, E., Mohd, S. y Yap, L. S. (2022). Intelligent Risk Management in Construction Projects: Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 10, 72936-72954. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3189157>
- Cooke, B. y Williams, P. (2013). *Construction planning, programming and control*. John Wiley & Sons.
- Dai, Z., Yang, Z., Yang, Y., Carbonell, J., Le, Q. V. y Salakhutdinov, R. (2019). Transformer-xl: Attentive language models beyond a fixed-length context. *arXiv:1901.02860*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.02860>
- Darko, A., Chan, A. P. C., Adabre, M. A., Edwards, D. J., Hosseini, M. R., & Ameyaw, E. E. (2020). Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automation in Construction*, 112, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2022). *Indicadores Económicos Alrededor de la Construcción (IEAC)*. <https://acortar.link/DULWbp>
- Edayadiyil, J. B. y Greeshma, A. S. (2022). Automated progress monitoring of construction projects using Machine learning and image processing approach. *International Conference on Advances in Construction Materials and Structures*, 65, 554-563. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.137>
- Emaminejad, N. y Akhavian, R. (2022). Trustworthy AI and robotics: Implications for the AEC

- industry. *Automation in Construction*, 139, 104298. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104298>
- Fang, L., Mei, B., Jiang, L. y Sun, J. (2020). Investigation of intelligent safety management information system for nuclear power construction projects. *ACM International Conference Proceeding Series*, 607-611. <https://doi.org/10.1145/3452940.3453058>
- Gobierno Nacional de Colombia. (2020). *Estrategia Nacional BIM 2020-2026*. <https://acortar.link/eVIDM7>
- Gupta, D. y Rani, R. (2019). A study of big data evolution and research challenges. *Journal of Information Science*, 45(3), 322-340. <https://doi.org/10.1177/0165551518789880>
- Haider, M. (2015). *Getting started with data science: Making sense of data with analytics*. IBM Press.
- Hsu, H.-C., Chang, S., Chen, C.-C. y Wu, I.-C. (2020). Knowledge-based system for resolving design clashes in building information models. *Automation in Construction*, 110, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103001>
- Huang, Y., Shi, Q., Zuo, J., Pena-Mora, F. y Chen, J. (2021). Research status and challenges of data-driven construction project management in the big data context. *Advances in Civil Engineering*, 1-19.
- Interreg - North Sea Region - European Regional Development Fund. (2021). *Industry 4.0 Awareness/Readiness tool*. <https://acortar.link/RpJ8LU>
- Kanyilmaz, A., Tichell, P. R. N. y Loiacono, D. (2022). A genetic algorithm tool for conceptual structural design with cost and embodied carbon optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 112, 104711. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104711>
- Kelleher, J. D. y Tierney, B. (2018). *Data science*. MIT Press.
- Lledó, P. (2013). *Administración de proyectos: El ABC para un Director de proyectos exitoso*.
- Lester, A. (2013). *Project Management, Planning and Control: Managing Engineering, Construction and Manufacturing Projects to PMI, APM and BSI Standards*. Elsevier Science.
- Li, C. Z., Zhao, Y., Xiao, B., Yu, B., Tam, V. W. Y., Chen, Z. y Ya, Y. (2020). Research trend of the application of information technologies in construction and demolition waste management. *Journal of Cleaner Production*, 263, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121458>
- Li, W., Duan, P. y Su, J. (2021). The effectiveness of project management construction with data mining and blockchain consensus. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02668-7>
- Loyola, M. (2018). Big data in building design: A review. *J. Inf. Technol. Constr.*, 23, 259-284.
- Rita Mulcahy, P. (2009). *PMP exam prep*. RMC publications.
- Netscher, P. (2014). *Successful Construction Project Management: The Practical Guide*. Panet Publications.

- Oliveira, B., A. P. De Faria Neto, R. M. A. Fernandino, R. F. Carvalho, A. L. Fernandes y F. G. Guimarães. (2021). Automated Monitoring of Construction Sites of Electric Power Substations Using Deep Learning. *IEEE Access*, 9, 19195-19207. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3054468>
- Pan, M., Yang, Y., Zheng, Z. y Pan, W. (2022). Artificial Intelligence and Robotics for Prefabricated and Modular Construction: A Systematic Literature Review. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(9), 03122004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002324](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002324)
- Pospieszny, P., Czarnacka-Chrobot, B. y Kobylinski, A. (2018). An effective approach for software project effort and duration estimation with machine learning algorithms. *Journal of Systems and Software*, 137, 184-196. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.11.066>
- Project Management Institute. (2017). *Guía de los Fundamentos Para la Dirección de Proyectos*. Pmbok.
- Ronghui, S. y Liangrong, N. (2022). An intelligent fuzzy-based hybrid metaheuristic algorithm for analysis the strength, energy and cost optimization of building material in construction management. *Engineering with Computers*, 38(4), 2663-2680. <https://doi.org/10.1007/s00366-021-01420-9>
- Rouhiainen, L. (2018). *Inteligencia artificial*. Alienta Editorial.
- Russell, S. J. (2010). *Artificial intelligence a modern approach*. Pearson.
- Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xie, H. S. y Girolami, M. (2020). Construction with digital twin information systems. *Data-Centric Engineering*, 1, e14. <https://doi.org/10.1017/dce.2020.16>
- Saka, A. B., Oyedele, L. O., Akanbi, L. A., Ganiyu, S. A., Chan, D. W. M. y Bello, S. A. (2023). Conversational artificial intelligence in the AEC industry: A review of present status, challenges and opportunities. *Advanced Engineering Informatics*, 55, 101869. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101869>
- Salem, T. y Dragomir, M. (2022). Options for and Challenges of Employing Digital Twins in Construction Management. *Applied Sciences*, 12, 2928. <https://doi.org/10.3390/app12062928>
- Secretaría General de Industria y de la pyme. (2022). Herramienta de Autodiagnóstico Digital Avanzada (HADA). <https://acortar.link/2vPWv7>
- Wu, L. y AbouRizk, S. (2021). Towards construction's digital future: A roadmap for enhancing data value. In *Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference*, 225-238. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Zabala-Vargas, S., Jaimes-Quintanilla, M. y Jimenez-Barrera, M. H. (2023). Big Data, Data Science, and Artificial Intelligence for Project Management in the Architecture, Engineering, and Construction Industry: A Systematic Review. *Buildings*, 13(12), 29-44.
- Zabala-Vargas, S., Jiménez-Barrera, M., Vargas-Sanchez, L. y Jaimes-Quintanilla, M. (2023).

Big data in construction project management: The Colombian northeast case. *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems*, 1, 3476-3483.
<https://doi.org/0.1201/9781003323020>

Zandi, Y., Issakhov, A., Roco Videla, Á., Wakil, K., Wang, Q., Cao, Y., Selmi, A., Agdas, A. S., Fu, L. y Qian, X. (2021). A review study of application of artificial intelligence in construction management and composite beams. *Journal of Building Engineering*, 44, 103299.

Zhang, Y., Ren, S., Liu, Y., Sakao, T. y Huisingsh, D. (2017). A framework for Big Data driven product lifecycle management. *Journal of Cleaner Production*, 159, 229-240.

Zhou, Y., Hu, Z.-Z. y Zhang, W.-Z. (2018). Development and Application of an Industry Foundation Classes-Based Metro Protection Information Model. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-20. <https://doi.org/10.1155/2018/1820631>

CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Contribuciones de los/as autores/as:

Conceptualización: Jaimes-Quintanilla, María y Zabala-Vargas, Sergio; **Software:** Jaimes-Quintanilla, María y Zabala-Vargas, Sergio **Validación:** Jaimes-Quintanilla, María y Zabala-Vargas, Sergio **Análisis formal:** Zabala-Vargas, Sergio; **Curación de datos:** Jaimes-Quintanilla, María y Zabala-Vargas, Sergio; **Redacción-Preparación del borrador original:** Zabala-Vargas, Sergio **Redacción-Re- visión y Edición:** Jaimes-Quintanilla, María **Visualización:** Jaimes-Quintanilla, María y Zabala-Vargas, Sergio **Supervisión:** Jaimes-Quintanilla, María y Zabala-Vargas, Sergio **Administración de proyectos:** Jaimes-Quintanilla, María y Zabala-Vargas, Sergio **Todos los/as autores/as han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito:** Jaimes-Quintanilla, María y Zabala-Vargas, Sergio

Financiación: Esta investigación recibió financiamiento de la Corporación Universitaria Minuto de Dios- UNIMINUTO.

AUTOR/ES:

María Jaimes-Quintanilla

Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Ingeniera Industrial de la Universidad Santo Tomás (2013), Magister en Calidad y gestión integral (2014) de la Universidad Santo Tomás. Cuenta con 10 años de experiencia en docencia universitaria e investigativa. Ha participado como directiva en organizaciones académicas y en el sector inmobiliario. Cuenta con experiencia en procesos productivos e industriales, en el sector avícola. Hace parte del grupo de investigación del programa de Ingeniería Industrial de la Corporación Universitaria Minuto de Dios. Su principal interés de investigación es la gestión de proyectos, inteligencia artificial, tecnología educativa y las telecomunicaciones aplicadas.

maria.jaimes.q@uniminuto.edu

Índice H: 1

Orcid ID: <https://orcid.org/0009-0000-5735-1379>

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58782567100>

Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=35SywbQAAAAJ&hl=es&oi=ao>

Sergio Zabala-Vargas

Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Ingeniero Electrónico de la Universidad Industrial de Santander (2005), especialista en Administración de Proyectos de la Universidad del Tolima (2010), Magister en Administración de Proyectos de la UCI de Costa Rica (2014) y Magister en E-learning de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (2015). Doctor en Tecnología Educativa de la Universidad de las Islas Baleares- España (2022). Cuenta con 18 años de experiencia en docencia universitaria e investigativa. Es investigador categoría SENIOR de MINCIENCIAS (Colombia). Hace parte del grupo de investigación GICABS de la Corporación Universitaria Minuto de Dios. Su principal interés de investigación es la gestión de proyectos, inteligencia artificial, tecnología educativa y las telecomunicaciones aplicadas.

sergio.zabala@uniminuto.edu

Índice H: 8

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-5803-1123>

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57207777079>

Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=HHVpOlsAAAAJ&hl=es>