

PATRONES DE EVOLUCIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN



- **Oscar Portilla Carreño**

Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia. Grupo de investigación INME

- **Jaime Gutiérrez Prada**

Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia. Grupo de investigación INME

- **Brayan Medina Martínez**

Ingeniero Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia. Grupo de investigación INME

- **Guillermo Mejía Aguilar**

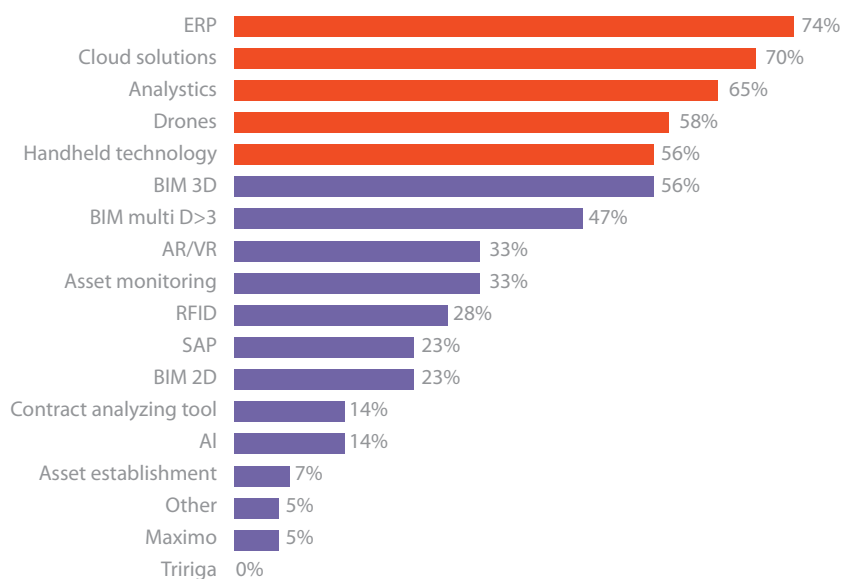
Profesor Titular, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia. Grupo de investigación INME

La industria de la construcción requiere aprovechar las experiencias diarias de sus proyectos para generar conocimiento de una manera sistemática y eficiente como apoyo a la gestión. Durante los últimos años se ha promovido la inteligencia artificial (IA) como una alternativa para generar este tipo de conocimiento, pero su aprovechamiento no ha sido el esperado. Con el advenimiento de la cuarta revolución industrial, el sector de la construcción debe estar atento al desarrollo tecnológico, metodológico y conceptual de la IA, e incorporarlos oportunamente para mejorar sus indicadores de desempeño y productividad de los proyectos.

Aunque se observan algunos esfuerzos por incorporar herramientas tecnológicas y digitales en el sector de la Construcción, esta adopción se ha llevado de manera desarticulada. Una encuesta realizada a finales de 2017 por la firma EYGM Ltda. a varias compañías constructoras en Europa, Asia y Norteamérica, reveló que se están implementando muchas herramientas tecnológicas y que solamente el 14% de ellas están planteando soluciones de IA (ver Figura 1).

Digital tools and systems

Our survey revealed the following:



Source: EY

Figura 1

Implementación de herramienta y sistemas digitales en empresas constructoras (Grinis, Mark, 2018).

Inteligencia Artificial IA

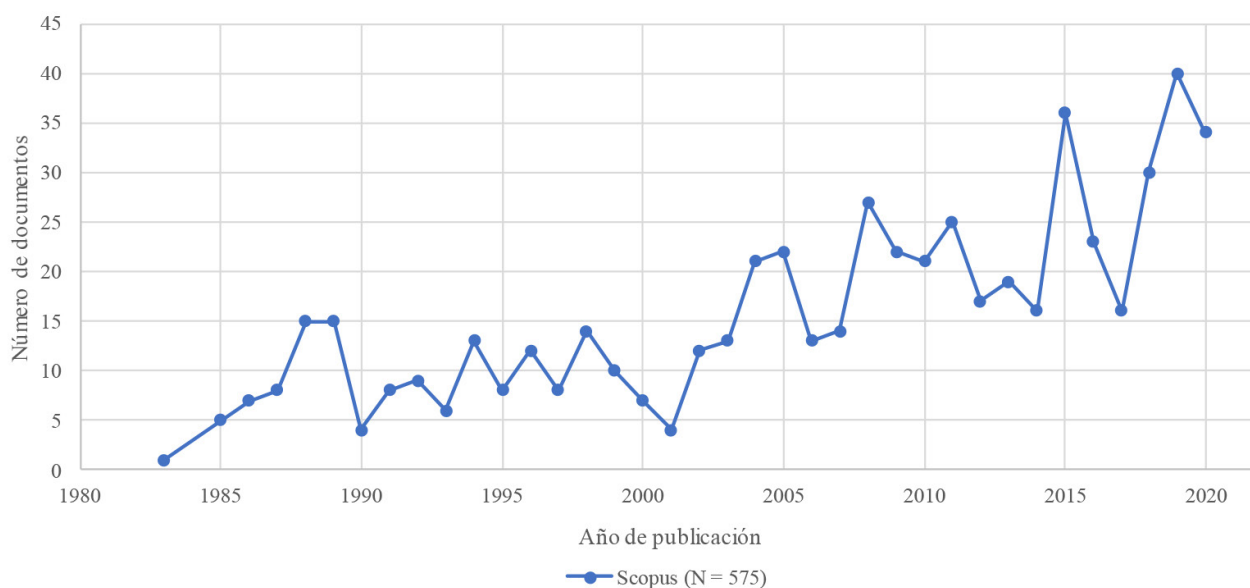


Figura 2

Publicaciones de inteligencia artificial en SCOPUS (elaboración propia).

El uso efectivo de las herramientas tecnológicas debe concebirse de manera sistémica para apoyar la toma de decisiones y la optimización de procesos, integrando datos financieros, datos corporativos, datos 2D y 3D de los sistemas BIM e informes de las diversas áreas de gestión de los proyectos, lo cual puede ser viable a través de la implementación de técnicas de IA. Las encuestas muestran que solo un 14% de empresas constructoras están trabajando en la integración de sistemas y de herramientas tecnológicas [1], lo que podría contribuir a una ineficiente gestión.

Aunque el desarrollo inicial de la IA data de los años 50s, una búsqueda preliminar en la base de datos SCOPUS muestra que su aplicación en el campo de la gerencia de la construcción se ha reportado desde 1985 con un notable crecimiento en las últimas dos décadas (ver Figura 2). Esta búsqueda preliminar fue realizada en agosto 6 de 2020 con la siguiente ecuación booleana: TITLE-ABS-KEY ("Artificial Intelligence" AND ("Construction Projects" OR "Construction Management" OR "Engineering Projects" OR "Project Management"))).

Existen diferentes definiciones de IA pero hay ciertas características comunes que se identifican. Como primero medida, la IA hace referencia a todo aquello que se ocupa de la simulación automática de la inteligencia o comportamiento inteligente. La inteligencia involucra procesos de percepción, análisis y reacción [2]. Para abordar esta simulación automática, la IA debe aproximarse desde varias disciplinas, de manera que se pueda entender, modelar y replicar los procesos cognitivos de tal inteligencia. En este sentido, se requieren principios y dispositivos computacionales, matemáticos lógicos, mecánicos y biológicos, entre otros [3]. El producto final de una aplicación de la IA es una combinación de software y hardware [4], cuyos componentes básicos son: a) las estructuras de datos, b) las técnicas de representación del conocimiento, c) los algoritmos de aplicación de conocimiento y lenguaje, y d) las técnicas de programación para implementar una solución [2].

El siglo 21 ha sido un escenario complejo y dinámico para los proyectos de construcción, donde los gerentes de proyecto están constantemente obligados a tomar decisiones y resolver problemas a tiempo. Este contexto ha llevado a buscar soluciones

basadas en experiencias pasadas que deben ser sistematizadas de manera efectiva [5]. Los esfuerzos iniciales de la aplicación de técnicas de IA a la gestión de construcción se encaminaron a mejorar los enfoques convencionales de simulación y análisis estadístico [6]. Luego, aparecieron los sistemas expertos convirtiéndose en un importante recurso para el mejoramiento de la gestión de la construcción [7]. Últimamente, técnicas de IA como lógica difusa, redes neuronales artificiales y algoritmos genéticos han sido utilizadas por los investigadores para apoyar la toma de decisiones [8].

Hay evidencia que la IA puede aplicarse en muchas áreas de la gerencia de la construcción ya sea para planificar optimizar, gestionar la información y el conocimiento y soportar la toma de decisiones. El presente estudio tuvo como propósito analizar la evolución de la IA y su aplicación en el área de la gestión de proyectos de construcción, para identificar las oportunidades de implementación de herramientas tecnológicas que ayuden a mejorar la productividad. De manera específica, la intención del estudio fue a) Describir la evolución de las técnicas y herramientas de la IA aplicadas en gerencia de proyectos de construcción, e b) Identificar la naturaleza y el enfoque conceptual de estas herramientas cuando son aplicadas a la gerencia de proyectos de construcción.

Metodología

Para lograr los objetivos anteriormente expuestos, se llevó a cabo una revisión sistemática de literatura tipo Scoping Review, ajustándose al protocolo de revisión propuesto por el Instituto Joanna Briggs [9]. Los artículos preliminarmente seleccionados fueron obtenidos de la base de datos SCOPUS. Se desarrolló un protocolo de selección con criterios de inclusión y exclusión de las fuentes primarias (ver Figura 3).

Una muestra final de 320 artículos fue la base de análisis para este estudio. Se usaron técnicas de análisis temático, utilizando algoritmos de co-ocurrencia con la herramienta VOSviewer. Una red de las palabras clave previamente codificadas y seleccionadas nos permitió visualizar los dominios temáticos existentes a través de nodos y conexiones (ver Figura 4). Los nodos representan las palabras clave y las conexiones representan las relaciones entre

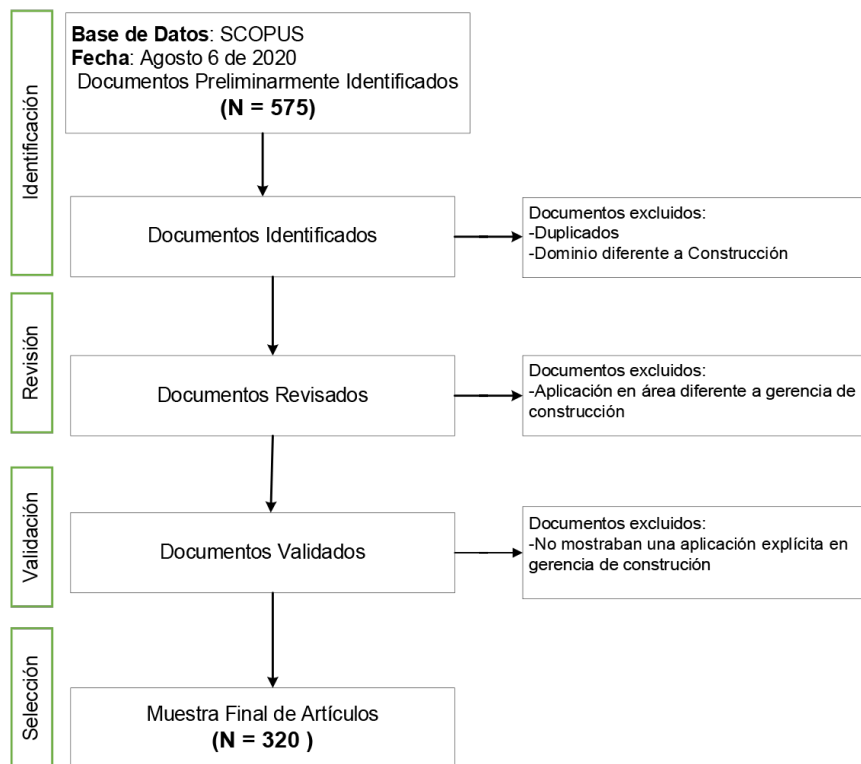


Figura 3

Diagrama de flujo del proceso de selección de documentos (elaboración propia, adaptada del JBI)

estas mismas, indicando también la fortaleza de dichas relaciones, de acuerdo al número de publicaciones en las que aparecen las palabras clave juntas [10,11]. Para este estudio fueron utilizadas las palabras clave indexadas generadas por SCOPUS y las del autor lo que permite una mayor comprensión del dominio [12].

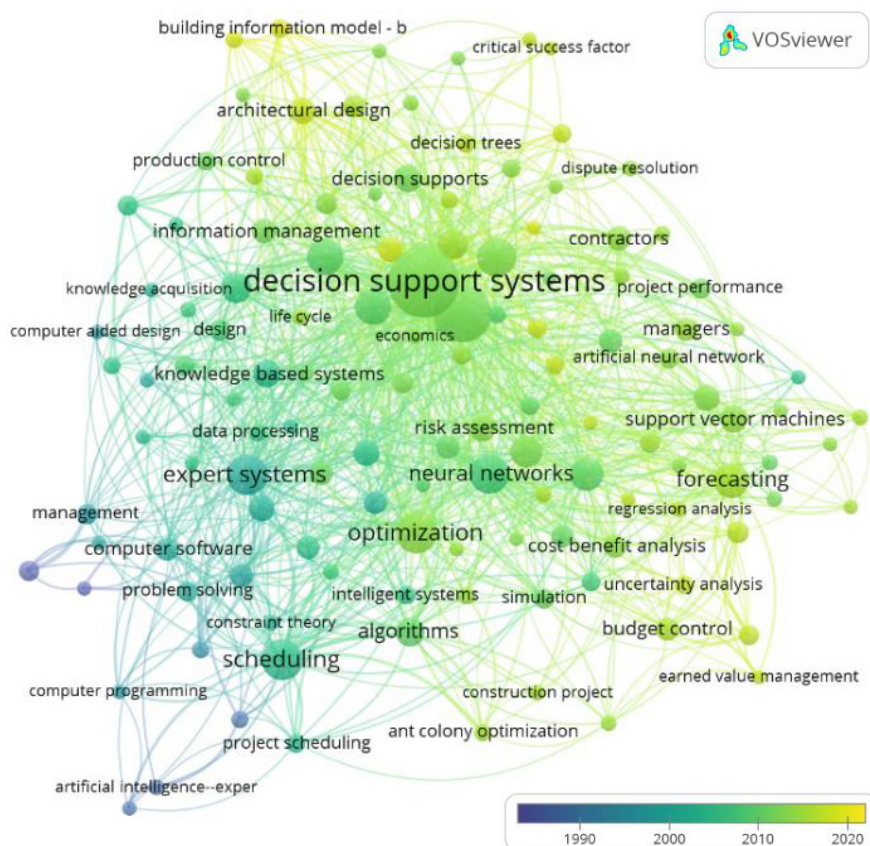


Figura 4

Red temática de IA periodo 1985-2020 (elaboración propia, basada en VOSviewer)

Resultados y Análisis

El análisis de los documentos permitió identificar una línea de tiempo que describe la evolución de la IA aplicada a la gerencia de proyectos de construcción, la cual fue organizada en periodos de 5 años, desde 1985 hasta 2020. Esta organización facilitó identificar las herramientas y técnicas más comunes dentro de cada período y el ciclo de vida de las técnicas.

Período 1985-1990

Desde este período inicial se evidencia la IA fuertemente relacionada con la toma de decisiones en tareas de planeación y control de proyectos. La toma de decisiones en este período es apoyada con modelos análogos y matemáticos para encontrar una solución óptima a un problema, simulando los patrones de comportamiento inteligente en una forma ordenada y consistente, siempre y cuando la información pueda ser cuantificada y se encuentre disponible [13]. También, los sistemas expertos o sistemas basados en el conocimiento (KBS por sus siglas en inglés) fueron identificados como métodos de apoyo a la toma de decisiones, ya que incorporan el conocimiento y la experiencia humana en el proceso [14]. En este caso, el método puede verse como un 'manual' computarizado que guía al tomador de decisiones, con base en información almacenada y en un conjunto de normas que han sido eficaces en casos similares, ofreciendo una decisión que es más probable de ser correcta que la que el usuario podría dar [15, 16]. Finalmente, en este período se comienza a conocer las técnicas basadas en redes semánticas, que, al igual que los sistemas expertos, buscan mejorar la calidad de las decisiones; sin embargo su naturaleza es muy diferente, ya que la información y los modelos están a disposición del usuario para que decida cuál técnica usar [15]

Período 1991-1995

El mejoramiento de los procesos de planificación, la generación de cronogramas y el control de proyectos continuó en este período fuertemente apoyado por los sistemas expertos y los sistemas de soporte a las decisiones [17,18]. La principal característica observada en este periodo fue la identificación de ciertas desventajas e inconvenientes de los sistemas que se estaban implementando. Dentro de las desventajas identificadas se pueden señalar: a) los sistemas expertos carecen de la habilidad de aprender por sí mismos, proveyendo soluciones generalizadas e inadecuadas e incompleta respuestas; b) los sistemas expertos requieren un intensivo desarrollo de software y mantenimiento, y demandan grandes volúmenes de memoria computacional; c) los sistemas expertos manejan grandes

volúmenes de información que no pueden ser adecuadamente agrupados dentro de módulos trabajables; y d) los sistemas expertos generan muchos errores de juicio sobre la experiencia almacenada, los cuales se multiplican fácilmente [19,20]. En este periodo se generó cierto escepticismo hacia estas técnicas y sobre su aplicación en la gerencia de la construcción.

Período 1996-2000

Los sistemas expertos y los sistemas de soporte de decisiones en este período tuvieron aplicación en la gestión de costos y la planificación automática de cronogramas [21-23]. En este período se retoma la investigación con las redes neuronales, las cuales, a pesar de tener un inicio paralelo con los sistemas expertos, su investigación había crecido lentamente. Las redes neuronales buscaban modelar el aprendizaje del cerebro, el pensamiento, el almacenamiento y la recuperación de información, así como el reconocimiento asociativo [24]. Las redes neuronales tuvieron una aplicación más versátil en el campo de la gerencia de la construcción, como la nivelación de recursos, los pronósticos de flujo de costos, los análisis económicos de proyectos de alto riesgo y el mejoramiento de planeación estratégica [25-28]. Se evidencia el surgimiento de los sistemas expertos basado en el razonamiento de casos (CBR), que involucra la experiencia en casos relevantes anteriores [29,30]. Finalmente, en este período se identificó el primer modelo híbrido de IA, el cual combina los sistemas expertos y las redes neuronales, buscando combinar las fortalezas de estas dos herramientas [31].

Período 2001-2005

Se destaca en este periodo el nacimiento de los algoritmos genéticos para optimización de costos y el control dinámico de los proyectos [32], la continuación de las redes neuronales como técnica para identificar las causas de los retrasos en las actividades de construcción [33], y el empleo de los sistemas de razonamiento basados en casos para estimar la productividad de las operaciones de construcción cíclicas [34]. También se evidenció el empleo de los modelos híbridos entre sistemas expertos y la lógica difusa para la predicción de la productividad de la mano de obra [35]; los modelos híbridos entre las redes neuronales y los sistemas de razonamiento basados en casos para predecir el resultado de un litigio de construcción [36]; y los modelos híbridos entre sistemas expertos, la lógica difusa y los algoritmos para planear los sitios de trabajo en obra [37]. Estos modelos híbridos buscaban tomar las mejores características de cada uno de los métodos integrados para mejorar el desempeño de los algoritmos de aprendizaje.

Período 2006-2010

Durante este período se observaron aplicaciones de la IA a la gestión de costos de cronogramas, y de la información principalmente, seguido de aplicaciones a la gestión de contratos. Las aplicaciones en la gestión de costos principalmente abordaron las estimaciones conceptuales utilizando sistemas expertos con algoritmos evolucionarios basados en el principio biológico de evolución y modelos supervisados de aprendizaje como las máquinas de vectores soporte [38]. Las aplicaciones a la gestión del cronograma se centraron principalmente en utilizar sistemas expertos para seleccionar la mejor ruta de actividades bajo contextos de limitación de recursos, cumplimiento de objetivos múltiples y optimizando los tiempos de espera. Los algoritmos de IA para optimizar más usados fueron los de colonias de hormigas [39] y los algoritmos genéticos [40]. Por su parte, las aplicaciones a la gestión de la información de los proyectos de construcción se centraron básicamente en plantear modelos híbridos de diferentes técnicas como la lógica difusa, las redes neurales y los algoritmos genéticos para resolver problema [41]. En cuanto a la gestión de contratos, se observó que en este período se presentaron diferentes propuestas para apoyar la selección de contratistas. Para estos casos se empiezan a observar el uso de sistemas expertos basados en redes Bayesianas [42] y redes neuronales no supervisadas [43].

Período 2011-2015

En este periodo se identificaron aplicaciones de la IA en las áreas de planificación, diseño e ingeniería, gestión de cronogramas, gestión de costos, licitaciones, y resolución de conflictos. La planificación y la gestión de cronogramas fueron las aplicaciones predominantes de este periodo utilizando múltiples técnicas tales como sistemas de soporte de decisión [44], máquinas de vectores de soporte, y la optimización de colonia de hormigas que fue una técnica emergente que ayudo a resolver problemáticas relacionadas a las aplicaciones mencionadas [45]. En este periodo también comenzó una iniciativa enfocada a resolver disputas legales relacionadas a contratos y licitaciones haciendo uso de las técnicas híbridas que mezclaban redes neuronales, lógica difusa y sistemas expertos entre sí [46]. Las mismas redes neuronales, por su parte, mostraron su versatilidad para predecir el éxito y flujo de caja de un proyecto, siendo parte de sistemas híbridos combinados con las técnicas de máquinas de vectores de soporte para pronosticar posibles diferencias entre contratistas y clientes, haciendo uso de los algoritmos genéticos [47]. También se encontraron los árboles de decisión para apoyar a los gerentes a tomar decisiones en sus proyectos [48] y una evolución de la lógica difusa con la inferencia difusa que ayudó a los gerentes de proyecto a estimar las líneas de base apropiadas y establecer metas realistas para la tasa de trabajo directo [49].

Período 2016-2020

En este lustro las aplicaciones más relevantes se efectuaron en la predicción y estimación de tiempos de ejecución del trabajo analizando fuentes de problemas de retrasos [50] y factores de secuencia y no secuencia que afectan significativamente la duración de un proyecto [51]. Otro aspecto investigado en este período, se relacionó con el monitoreo del flujo de caja en obra, los pronósticos de costos y la evaluación de riesgos de sobrecostos en proyectos de construcción [52]. Las aplicaciones mencionadas fueron desarrolladas por métodos más recurrentes como lo son: redes neuronales, técnicas de bosque aleatorio y técnicas de memorias de corto plazo. Sin embargo, en este periodo es posible identificar la gran influencia y adopción de modelos híbridos con la finalidad de mejorar la eficiencia y la potencia de sistemas inteligentes aislados, puesto que afrontar y analizar algunos problemas resulta difícil utilizando un solo método de razonamiento [53]. Finalmente, cabe resaltar que en este periodo se realizó un avance significativo en la clasificación, monitoreo y evaluación de factores de riesgos que afectan la seguridad de trabajadores en el sector de la construcción [54].

Conclusiones

Es evidente el creciente desarrollo de las herramientas de IA que pueden ser implementadas adecuadamente en construcción. El estudio muestra que su aplicación en el campo de la gerencia de la construcción se ha reportado desde 1985 con un notable crecimiento en las últimas dos décadas para apoyar los procesos de toma de decisiones y resolución de problema de manera oportuna y eficiente.

Los resultados del estudio mostraron que, desde el período inicial de 1985-1990, la IA fuertemente relacionada con los procesos de toma de decisiones en tareas de planificación y control de proyectos. Luego en los periodos siguientes los esfuerzos se centraron en trabajar los sistemas de gestión de costos y cronogramas, en diferentes contextos y bajo diferentes condiciones. En los lustros iniciales del siglo 21 se observaron que las aplicaciones se ocuparon de temas más específicos como licitaciones y resolución de conflictos. Hacia los lustros finales se observó que el tema central fue la gestión de riesgos, y finalmente, como aplicación emergente se encontró que las soluciones se enfocaron a tratar temas específicos como sistemas de alertas tempranas y de seguridad en los proyectos. La planificación y la predicción han sido recurrentes, no obstante, en la última

década, el control, el monitoreo, la evaluación y la optimización han tomado relevancia para mejorar la productividad en construcción.

Los resultados también mostraron patrones de recurrencia de métodos y técnicas. Los esfuerzos iniciales de la aplicación de técnicas de IA tuvieron enfoques convencionales de simulación y estadística, planteando algoritmos análogos y matemáticos. Paralelamente se observó que la idea central de las técnicas y métodos giraban alrededor del concepto de sistema experto, buscando simular los procesos que los ingenieros realizaban en cada situación particular. Los sistemas expertos adoptaron principalmente los nombres de sistemas basados en conocimientos y experiencias, sistemas de soporte a la toma de decisiones, sistemas basados en casos, y en algunos casos específicos se encontraron denominaciones muy particulares como el de sistemas inmunes. Las técnicas evolucionaron desde la adopción aislada de redes neuronales, algoritmos genéticos y lógica difusa, hasta sistemas híbridos que buscaban mejorar los mecanismos de aprendizaje. Finalmente se observó que las redes bayesianas y las técnicas evolucionarias (basadas en el principio biológico de evolución) han sido las técnicas emergentes en los últimos lustros.

Referencias

- [1] Grinis, Mark, et. al. (2018). Retrieved from <https://www.eyjapan.jp/industries/real-estate/knowledge/2018/pdf/2018-01-01.pdf>
- [2] Chowdhary, K. R. (2020). Fundamentals of Artificial Intelligence.
- [3] Frankish, K., & Ramsey, W. M. (2014). The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence.
- [4] Nagy, Z. (2018). Artificial Intelligence and Machine Learning Fundamentals.
- [5] Kanapeckiene, L., Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., & Seniut, M. (2010). Engineering Applications of Artificial Intelligence. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2010.01.030>
- [6] Hua, G. B. (2008). Construction Management and Economics. <https://doi.org/10.1080/01446190801998716>
- [7] Ashley, D., & Levitt, R. (1987). Journal of Computing in Civil Engineering, 1(4), 303–311.
- [8] Cheng, M. Y., & Roy, A. F. V. (2010). Expert Systems with Applications.
- [9] The Joanna Briggs Institute. (2015). The Joanna Briggs Institute Reviewers' Manual 2015: Methodology for JBI scoping reviews. Joanne Briggs Institute. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Xu, Q., Chong, H. Y., & Liao, P. chao. (2019). Safety Science, 120(August), 824–832.
- [10] Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2014). Measuring Scholarly Impact (pp. 285–320). https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13
- [11] Van Eck, N., & Waltman, L. (2019). VOSviewer Manual.
- [12] Darko, A., Chan, A. P. C., Adabre, M. A., Edwards, D. J., Hosseini, M. R., & Ameyaw, E. E. (2020, April 1). Automation in Construction, Vol. 112, p. 103081.
- [13] Warszawski, A. (1985). Building and Environment, 20(4), 201–210.
- [14] Navinchandra, D., Sriram, D., & Logcher, R. D. (1988). Journal of Computing in Civil Engineering, 2(3), 239–254.
- [15] Nelson Ford, F. (1985). Information and Management, 8(1), 21–26.
- [16] Stefik, M., Aikins, J., Balzer, R., Benoit, J., Birnbaum, L., Hayes-Roth, F., & Sacerdoti, E. (1982). The Organization of Expert Systems* A Tutorial.
- [17] Jüngen, F. J., & Kowalczyk, W. (1995). European Journal of Operational Research, 84(1), 60–81.
- [18] Sirajuddin, A., & Mawdesley, M. J. (1991). Computers and Structures, 40(1), 37–44.
- [19] Forsythe, D. E., & Buchanan, B. G. (1992). Expert Systems With Applications, 5(3–4), 203–212.
- [20] Licker, P., & Olsen, B. (1992). The Journal of Systems and Software, 19(2), 171–183.
- [21] Deepak Kumar, C., & Sarma, V. V. S. (1996). Sadhana, 21(3), 327–343.
- [22] Lambropoulos, S., Manolopoulos, N., & Pantouvakis, J. P. (1996). Construction Management and Economics, 14(2), 79–92.
- [23] Narin'yani, A. S., Borde, S. B., & Ivanov, D. A. (1997). Artificial Intelligence in Engineering, 11(1), 5–14.
- [24] Moselhi, O., Hegazy, T., & Fazio, P. (1991). Journal of Construction Engineering and Management, 117(4), 606–625.
- [25] Badiru, A. B., & Sieger, D. B. (1998). European Journal of Operational Research, 105(1), 130–142.
- [26] Boussabaine, A. H., & Kaka, A. P. (1998). Construction Management and Economics, 16(4), 471–479.
- [27] Kartam, N., & Tongthong, T. (1998). Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM, 12(3), 273–287.
- [28] Khong, P. W., & Lim, K. S. (2000). International Journal of Computer Applications in Technology, 13(3–5), 98–106.
- [29] Haque, B. U., Belecheanu, R. A., Barson, R. J., & Pawar, K. S. (2000). Knowledge-Based Systems, 13(2), 101–112.
- [30] Lee, K. J., Kim, H. W., Lee, J. K., & Kim, T. H. (1998). AI Magazine, 19(1), 13–23.
- [31] Li, H., & Love, P. E. D. (1997). Construction Management and Economics, 17(2), 169–176.
- [32] Hegazy, T., & Petzold, K. (2003). Journal of Construction Engineering and Management, 129(4), 396–404.
- [33] Soibelman, L., & Kim, H. (2002). Journal of Computing in Civil Engineering, 16(1), 39–48.
- [34] Graham, D., & Smith, S. D. (2004). Advanced Engineering Informatics, 18(1), 17–28.
- [35] Fayek, A. R., & Oduba, A. (2005). Journal of Construction Engineering and Management, 131(8), 938–941.
- [36] Arditi, D., & Pulket, T. (2005). Journal of Computing in Civil Engineering, 19(4), 387–393.
- [37] Elbeltagi, E., & Hegazy, T. (2001). Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 16(2), 79–93.
- [38] Cheng, Min Yuan, Tsai, H. C., & Sudjono, E. (2010). Expert Systems with Applications.
- [39] Ghoseiri, K., & Nadjari, B. (2010). Applied Soft Computing Journal. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.09.014>
- [40] Montoya-Torres, J. R., Gutierrez-Franco, E., & Pirachicán-Mayorga, C. (2010). International Journal of Project Management. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2009.10.003>
- [41] Yu, W. Der, & Liu, Y. C. (2006). Automation in Construction. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.01.007>
- [42] Bayraktar, M. E., & Hastak, M. (2009). Automation in Construction.
- [43] Elazouni, A. M. (2006). Journal of Construction Engineering and Management.
- [44] Colin, J., Martens, A., Vanhoucke, M., & Wauters, M. (2015). Decision Support Systems, 79, 65–76.
- [45] Vahdani, B., Mousavi, S. M., Hashemi, H., Mousakhani, M., & Ebrahimnejad, S. (2014). Arabian Journal for Science and Engineering, 39(5), 4301–4314.
- [46] Movahedian Attar, A., Khanzadi, M., Dabirian, S., & Kalhor, E. (2013). International Journal of Project Management, 31(6), 924–936.
- [47] Shin, Y. (2015). Computational Intelligence and Neuroscience, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/149702>
- [48] Shahtaheri, M., Nasir, H., & Haas, C. T. (2015). Journal of Construction Engineering and Management, 141(5), 04014097.
- [49] Yaseen, Z. M., Ali, Z. H., Salih, S. Q., & Al-Ansari, N. (2020). Sustainability (Switzerland), 12(4), 1–14.
- [50] Cheng, M.-Y., Chang, Y.-H., & Korir, D. (2019). Journal of Construction Engineering and Management, 145(11), 04019072.
- [51] Juszczak, M., & Leśniak, A. (2019). Symmetry, 11(3).
- [52] Corchado, J. M. (1999). Tehnicki Vjesnik, 22(5), 1171–1178.
- [53] Cheng, Min Yuan, Kusoemo, D., & Gosno, R. A. (2020). Automation in Construction, 118(November 2019), 103265.