

CIVIL ENGINEERING

A review on the role of artificial intelligence in the construction industry

INGENIERÍA CIVIL

Una revisión sobre el rol de la inteligencia artificial en la industria de la construcción

Jorge G. Mendoza¹ , Mitzi B. Quispe¹ , Sócrates P. Muñoz^{1§} 

¹Universidad Señor de Sipán, Escuela de Ingeniería Civil, Pimentel, Perú

mpenajorgegusta@crece.uss.edu.pe, qvilchezmitzibr@crece.uss.edu.pe, §msocrates@crece.uss.edu.pe.

Recibido: 11 de noviembre de 2021 – **Aceptado:** 28 de enero de 2022

Abstract

The construction industry and artificial intelligence are very important topics that, if we merge them, would generate a very important impact in terms of construction, due to the fact that many tasks and work time would be optimized, however, the human capacity for the management of technology must be taken into account. In this paper the objective is to investigate and obtain a systematic understanding of the importance, challenges and solutions in the different phases of construction offered by artificial intelligence, for this purpose a review of 86 duly indexed articles from the last 7 years between 2015 and 2021 was carried out, which are divided as follows: 39 from ScienceDirect, 24 from Scopus and 23 from EBSCO, documents in which they point out the importance of working artificial intelligence and the construction industry, giving good results in terms of progress, safety, quality and performance in the works, so it can be concluded that the technology optimizes time, costs and efforts in construction so implementing it is a potentially viable alternative.

Keywords: *Artificial intelligence, Construction, Technology.*

Como citar:

Mendoza JG, Quispe MB, Muñoz SP. Una revisión sobre el rol de la inteligencia artificial en la industria de la construcción. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, In press 2022; e30511727. <https://doi.org/10.25100/iyv.v24i2.11727>



Resumen

La industria de la construcción y la inteligencia artificial son temas muy importantes que, si las fusionamos, generaría un impacto muy importante en cuanto a la construcción, debido a que se optimizarían muchas labores y el tiempo de trabajo, sin embargo, se debe tener en cuenta la capacidad humana para el manejo de la tecnología. En el presente documento el objetivo es investigar y obtener una comprensión sistemática de la importancia, desafíos y soluciones en las distintas fases de la construcción que ofrece la inteligencia artificial, para ello se realizó una revisión de 86 artículos debidamente indexados de los últimos 7 años entre 2015 y 2021, los cuales se dividen de la siguiente manera: 39 de ScienceDirect, 24 de Scopus y 23 de EBSCO, documentos en los que señalan la importancia de funcionar la inteligencia artificial y la industria de la construcción, dando buenos resultados en cuanto avance, seguridad, calidad y rendimiento en los trabajos, por lo que se puede concluir que la tecnología optimiza tiempo, costos y esfuerzos en la construcción por lo que implementarla es una alternativa potencialmente viable.

Palabras clave: Inteligencia artificial, Construcción, Tecnología.

1. Introducción

En los 10 últimos años la inteligencia artificial se ha convertido en un tema muy importante en la investigación, ya que se puede emplear en distintas áreas laborales, optimizando el trabajo y ahorrando dinero, una de estas áreas es la construcción ⁽¹⁾. Según ^(2,3) la industria de la construcción junto con la ingeniería y la arquitectura son actividades con problemas complicados desde los trabajos previos como topografía, estudio de suelos o las modificaciones en plena ejecución de obra, hasta el mantenimiento para el cumplimiento de la vida útil de una estructura, por lo que la inteligencia artificial resulta ser una herramienta útil y potente para mitigar estos problemas, de la misma manera ⁽⁴⁾ indican que en las últimas décadas la tecnología se ha posicionado en la construcción, dando paso a que las empresas opten por hacer uso de la inteligencia artificial para facilitar la comunicación, la construcción, ingeniería y diseño.

La industria de la construcción al igual que la tecnología en los últimos tiempos han tenido un gran crecimiento, por lo que los usuarios de estas áreas se han visto en la necesidad de buscar alternativas que permitan mejorar el rendimiento. La tecnología cada vez mejora la inteligencia artificial, ya sea creando herramientas, sistemas o

máquinas eficaces que permiten un trabajo rápido y preciso.

An et al. ⁽⁵⁾ afirman que la inteligencia artificial es necesaria ya que se ha venido empleando para resolver una gran cantidad de problemas, además de ello mejorar la calidad, optimizar decisiones y la productividad durante la ejecución y vida de un proyecto, que abarca la planificación, diseño, construcción y mantenimiento, ⁽⁶⁾ coincide con la idea de que la inteligencia artificial en los últimos tiempos ha demostrado ser una alternativa eficiente capaz de igualar la capacidad humana o en el mejor de los casos sobrepasarla, sin embargo para que funcione tiene que ser operada por una persona capacitada.

Por otro lado Martínez et al. ⁽⁷⁾ no concuerdan con las teorías anteriores, debido a que unir estas dos áreas es muy costoso y con un margen de error alto, pero propone seguir investigando sobre el tema para comprender a profundidad los pros y contras que tiene esta fusión. Algunas industrias han utilizado elementos tecnológicos para mejorar sus cadenas de valor, sin embargo, los desafíos persisten porque aún se usa las prácticas industriales tradicionales y la industria de la construcción tendrá que trabajar para integrar la tecnología con más fuerza en sus procesos. ⁽⁸⁾

El rol que ejerce la inteligencia artificial sobre la construcción es un tema que actualmente es ampliamente discutido e investigado, ya que el impacto que puede tener es muy llamativo, debido a que puede disminuir costos, ahorrar tiempo y mejorar los trabajos, pero existe un problema en la sociedad, según los estudios y encuestas realizadas mencionan que hay un rechazo hacia la innovación y la tecnología por parte del grupo obrero porque creen que el uso de tecnología tal como máquinas y sistemas computarizados les quitara parte del trabajo.

Los profesionales de la construcción se están adaptando cada vez más a herramientas y marcos colaborativos y tecnológicos como la inteligencia artificial ya que nuevas novedades están presentes en oficinas, obras, vehículos, etc. cada vez los desarrollos tecnológicos van tomando espacio en diferentes áreas, por lo que la inteligencia artificial va influyendo en diversas industrias, en los nuevos avances y diseños de mejor calidad ⁽⁹⁾. La industria de la construcción tampoco es ajena a la inteligencia artificial, ayuda a los ingenieros civiles a automatizar los trabajos relacionados con la construcción que a menudo requieren mucho tiempo y esfuerzo, como por ejemplo la construcción de edificios, presas, puentes y carreteras, pero también requiere de un costo y una estrategia considerables para lograr estructuras sólidas, confiables y hermosas ⁽¹⁰⁾.

Hay temor de que algunos trabajos existentes a largo plazo desaparezcan, y que nuevos profesionales con más experiencia se involucren en las nuevas herramientas, ya que para tener un mejor desarrollo tenemos que capacitarnos en todo lo que conlleva las nuevas tecnologías, de esta manera cambiaremos nuestra perspectiva en como evaluar un proyecto y de qué manera podemos relacionarnos con nuestro equipo de trabajo ^(11,12).

Por otro lado Beloev et al.⁽¹³⁾ indican que la inteligencia artificial tiene un ámbito muy amplio, por ello va diseñadas para reflejar las características asociadas con el comportamiento humano para la inferencia y la autocorrección a un ritmo exponencial, por lo que se espera que con el tiempo aprenda reglas simples para aplicaciones como la detección de fraudes o la elaboración de perfiles de riesgo.

A medida que aumenta la velocidad de construcción, se debe mantener la calidad de las estructuras. Por tanto, para realizar estas tareas, es posible utilizar inteligencia artificial, que no solo acelera la construcción, sino que también ayuda a los ingenieros a mantener la calidad de los edificios construidos en menos tiempo y con alta precisión.

Manzoor et al.⁽¹⁴⁾ consideran que la inteligencia artificial juega un papel importante en la ingeniería civil hacia la digitalización y la inteligencia, permitiendo aumentos significativos, además del rendimiento como también la conectividad entre la construcción física y digital ⁽¹⁵⁾, del mismo modo la inteligencia artificial va aplicándose en diversas áreas como la ingeniería, administración de empresas y también geoingeniería, como la detección de deslizamientos de tierra, el pronóstico de inundaciones el mapeo del potencial de las aguas subterráneas y las propiedades predictivas, las cuales van aumentando su desarrollo en sus respectivas ramas.

Aladejare et al.⁽¹⁶⁾ describe que la inteligencia artificial realiza una apariencia de la inteligencia humana por ende dentro de la construcción se busca muchos programas, equipos que asemejen las acciones humanas para un resultado eficaz y ser aplicado a grandes proyectos para su ejecución ya que dentro de la industria mencionada conlleva infinidad de innovaciones las cuales pueden mejorar con la intervención de la inteligencia

artificial, de igual forma⁽¹⁷⁾ describen sobre cómo influye la inteligencia artificial en la construcción, siendo una tecnología novedosa con un gran proceso de inteligencia tanto perceptiva y cognitiva que da pase a una cuarta revolución.

La construcción es un tema muy amplio y hay que tratarlo con cuidado, en esta industria hay puntos importantes como el tiempo, la seguridad, el dinero, calidad, etc. Por lo que es fundamental innovar y probar herramientas que ayuden a perfeccionar las actividades.

El propósito de este artículo se basa en hacer una revisión de los últimos estudios e investigaciones sobre el papel importante que ocupa la inteligencia artificial en la industria de la construcción, los resultados en la presente revisión se analizan y se discuten, para poder lograr una comprensión sistemática o nuevos conocimientos del tema tratado.

2. Metodología

2.1 Material

Para el artículo de revisión sistemática se hizo un reconocimiento de material bibliográfico que consta de 86 artículos debidamente indexados en los últimos 7 años, que comprende entre el 2015 y 2021, para ello se hizo una búsqueda intensa en 3 diferentes bases de datos, entre ellos ScienceDirect, Scopus y EBSCO.

2.2 Procedimiento

Empezando por la base de datos ScienceDirect se realizó la búsqueda con las palabras claves, “artificial intelligence in construction” y “artificial intelligence in civil engineering” además se hizo el filtrado correspondiente dando como resultado 52 y 72 documentos respectivamente, seleccionando un total de 39 artículos, el mismo procedimiento de búsqueda se hizo en las demás bases de datos.

En EBSCO se llevó a cabo 3 búsquedas de las cuales se seleccionó un total de 24 artículos y en la base de datos de Scopus se hizo uso de 4 ecuaciones para la búsqueda con los respectivos filtros, teniendo en cuenta también los operadores boléanos y de esta manera fueron seleccionados un total de 23 artículos, cabe resaltar que todos los documentos seleccionados han sido de referencia para la presente investigación. Para un mejor detalle en la tabla 1 y 2 se muestran los resultados de búsqueda con sus respectivos filtros.

2.3 Criterio de elegibilidad

La selección de documentos se llevó a cabo teniendo en cuenta la necesidad de información, que sean artículos relacionado al tema a tratar y que no tengan más de 7 años de antigüedad en cuanto a la publicación debido a que la tecnología cambia cada año y mientras más actual sea la información es más preciso el estudio realizado, además para la recopilación de investigaciones se verifico que estén redactados en el idioma español o inglés, para ello se realizó una bitácora donde se permite ordenar toda la información que ha servido como referencia para el presente informe.

Tabla 1: Artículos según la base de datos y año de publicación.

Año	Base de datos			
	ScienceDirect	Scopus	EBSCO	Total
2015	2	-	-	2
2016	-	-	1	1
2017	1	1	2	4
2018	2	-	5	7
2019	9	2	3	14
2020	11	7	7	25
2021	14	14	5	33
Total	39	24	23	86

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Artículos seleccionados según la base de datos, palabras claves y filtros de búsqueda.

Base de Datos	Palabras claves	Cantidad de doc. Resultantes sin filtro	Filtro de la búsqueda	Años de la búsqueda de la información	Cantidad de doc. Resultantes con filtro	Cantidad de doc. que se seleccionó
Science Direct	artificial intelligence in construction	22 123	review article automation in construction Construction and Building Materials engineering	2015-2021	52	16
	artificial intelligence in civil engineering	5 460	review article automation in construction Construction Engineering Magazine annual check-ups under control engineering structures cement and concrete research building and construction materials	2015-2021	72	23
EBSCO	artificial intelligence in construction	359	text complete full text in PDF Publications Professional publications Academic publications Journals artificial intelligence	2015-2021	5	4

	artificial intelligence in construction	361	Artificial intelligence texto completo en PDF	2015-2021	34	14
	Artificial intelligence in engineering	6240	Revistas texto completo en PDF artificial intelligence	2015-2021	14	5
	Artificial intelligence AND civil construction	99	Open acces Engineering Materials Science	2015-2021	19	6
	Artificial intelligence AND engineering	15807	Open acces Engineering Materials Science document typ (review) keyword (artificial intelligence)	2015-2021	73	6
Scopus	Artificial intelligence AND construction	5831	Open acces Engineering Materials Science document typ (review) keyword (artificial intelligence)	2015-2021	16	6
	Artificial intelligence AND construction AND present	1145	Open acces Engineering Materials Science document typ (review,article) keyword (artificial intelligence)	2015-2021	59	6

Fuente: Elaboración propia.

3. Resultados y discusión

Beljkas et al.⁽¹⁸⁾ mencionan que, con los análisis correspondientes, existe una gran cantidad de conocimiento disponible en la industria de la construcción, que se puede capturar y convertir en una aplicación de asistencia y transmitirlo a personas altamente calificadas e interesados en la construcción, de esta forma, el sector se prepara para la próxima generación y se aborda la falta de mano de obra. La construcción también llega a ser usado por la fuerza militar, construyendo barreras protectoras y trincheras de infantería o en caso de un fenómeno natural emplean herramientas que

ayuden a la limpieza de terreno o movimiento de tierras, últimamente se han beneficiados con la innovación de maquinarias pesadas que facilita el trabajo y reduce el tiempo de acción⁽¹⁹⁾.

Según Taffese et al.⁽²⁰⁾ para obtener resultados a un corto plazo se emplea nuevas tecnologías, en el caso de realizar obras se requiere de amplios procesos para detallar datos, planos, equipos y manos de obra,⁽²¹⁾ de igual estos casos la inteligencia artificial nos sirve de mucha ayuda para distribuir la información y corregirla en tiempo real por medio de drones, cámaras y sensores, asimismo mencionan que en la industria

de la construcción se necesita mejorar el proceso constructivo.

Para satisfacer esta demanda esperada, es necesario aumentar el ritmo de construcción. A medida que aumenta la velocidad de construcción, se debe mantener la calidad de las estructuras. Por tanto, para llevar a cabo estas tareas, se puede utilizar la inteligencia artificial que no solo acelera el avance de la construcción, sino que también ayuda a los ingenieros a mantener la calidad de los edificios construidos en menor tiempo con alta precisión y exactitud.

Por otro lado Abioye et al.⁽²²⁾ indica que la industria de la construcción con el transcurso del tiempo crece, pero con ciertas complejidades ya que se enfrenta a una cierta cantidad de desafíos como sobrecostos, seguridad, tiempo, salud y lo más preocupante que es la mano de obra. Para la construcción de puentes es importante evaluar los costos, sin dejar de lado la seguridad y durabilidad

que son puntos importantes, las redes neuronales artificiales son claves para reducir el tiempo de cálculo, además el error es mínimo ⁽²³⁾.

Sin embargo Dabouse et al.⁽²⁴⁾ indica que la adopción de la inteligencia artificial en la industria de la construcción ha experimentado una rápida transformación digital, además está siendo muy investigada debido a la eficacia que brinda con respecto a las labores, tiempo, dinero y rendimiento, sin embargo en cuanto a precisión la tecnología debe invertir más, ya que en el estudio que realizaron, compararon resultados de equipos de escáner láser terrestre (TLS) con detección y alcance de luz (LIDAR) (Figura 1) vs técnicas geodésicas convencionales, resultando que TLS tiene un error de 3,4 mm lo cual es mucho mayor que los trabajos convencionales siendo insuficiente para este tipo de trabajos.

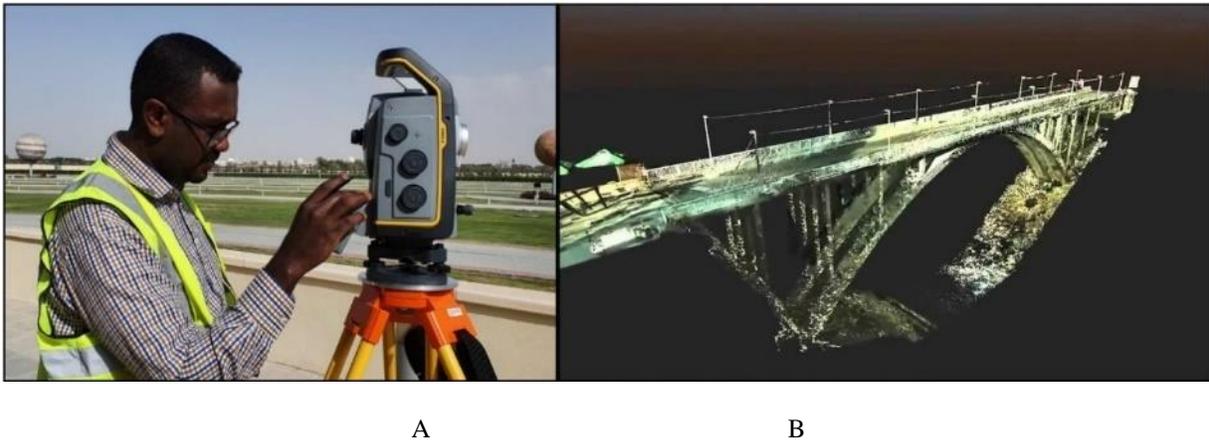


Figura 1: A) Ejemplo de un dispositivo de escaneo láser, B) Muestra de datos LIDAR. Fuente: ⁽²⁴⁾

3.1 Tiempo y Dinero

Por eso en la investigación de ⁽²⁵⁾ mencionan la importancia de usar la inteligencia artificial para minimizar costos y lograr un mejor trabajo en poco tiempo; como ejemplo citan el gran

problema del mantenimiento de carreteras, el cual lo califican como un proceso de evaluación y ejecución muy costoso, las herramientas tecnológicas que procesan imágenes es una alternativa para la rápida evaluación y toma de decisiones por parte de los encargados de

mantener el pavimento activo, a la vez ⁽²⁴⁾ su objetivo fue el control y monitoreo de puentes, calificándolo como un proceso tedioso y lento, por lo que coincide con la idea de usar la tecnología para evaluar el estado de las estructuras, siendo más rápido que los procesos convencionales.

De la misma forma Sony et al.⁽²⁶⁾ menciona equipos pertenecientes a la inteligencia artificial como cámaras, vehículos aéreos y terrestres no tripulados, que permiten mejorar las actividades y realizarlas en el menor tiempo posible, ⁽²⁷⁾ la economía en cada país es indispensable para ello la tecnología que se viene implementando en la actualidad es big data para ver la perspectiva del mercado en el que abarca el desarrollo actual y el pronóstico financiero para demostrar infinidad de aspectos en cada actividad a realizar, uno de estos mercados es el de la construcción.

El tiempo y dinero son dos puntos importantes en la industria de la construcción que van de la mano, por lo que en muchas investigaciones muestran la importancia de usar herramientas inteligentes, debido a que, al realizar los trabajos con estas, reduce en gran porcentaje el tiempo de labores, lo mismo sucede con el ahorro de costos operacionales.

El impacto económico dentro de la construcción se viene desarrollando de manera eficaz siempre y cuando se tome de base la inteligencia artificial para menorar el tiempo en la ejecución de los proyectos por ello ^(28,29) indican que para reducir el tiempo y costos en trabajos de los estudios de mecánica de suelos se aplica la inteligencia artificial, donde emplea un sistema de modelación que busca determinar la rigidez, de cada muestra de suelos, dando buenos resultados y en tiempos menores que los trabajos convencionales que se usan en la actualidad.

Zewdu et al.⁽³⁰⁾ menciona que usando la inteligencia artificial se podría predecir de manera precisa la vida útil de una estructura y así tomar las medidas necesarias de manera rentable y optimizando el tiempo, asimismo ⁽³¹⁾ menciona que usando las redes neuronales considerando el perceptrón multicapa se podrá determinar las características del suelo y mejorar el contenido óptimo de humedad.

Gomez et al.⁽³²⁾ sostiene que el problema de pérdida de tiempo y dinero en la construcción está relacionado con los recursos, en el mismo ámbito ⁽³³⁾ indican que algunas industrias han iniciado una transformación de la era digital a la era inteligente, un proceso que se desarrolla a base de equipos modernos que representa un gran segmento de la economía global, mientras que el interés en la inteligencia se está expandiendo, ya que se presenta en algunos trabajos el análisis de datos en tiempo real lo que favorece a la producción. ⁽³⁴⁾ en los trabajos de suelos se presenta también la porosidad del mismo lo que dificulta los estudios por lo que se emplea las redes neuronales en el que se basa en un orden de las propiedades microestructurales a una macro escala para no conllevar a datos inexactos que se tiene que volver a corregir.

El desarrollo de la inteligencia artificial ha traído grandes avances en todas las industrias creando un impacto económico notable y optimizando el tiempo de trabajo, desde el desarrollo de programas hasta la implementación de toma de decisiones, el futuro del trabajo depende de cómo elija utilizar esta tecnología.

La falta de insumos en obra es un problema, sin embargo el uso de la inteligencia artificial puede implementar un sistema de pedidos inteligentes, el cual consiste en una llamada y un catálogo virtual en tiempo real del proveedor con el contratista, esto maximiza la participación de la billetera comercial ahorrando tiempo y dinero a

los contratistas que no tienen que tratar con múltiples proveedores ⁽³⁵⁾ del mismo modo ⁽³⁶⁾ exponen que los investigadores esperan expandir las capacidades de la inteligencia artificial mediante el desarrollo de sistemas que expliquen sus resultados, argumenten en términos abstractos y aprendan de una manera menos intensiva en datos y más parecida a la humana pero con menor tiempo.

3.2 Labores

Guang⁽³⁷⁾ expone que crear o sustituir puestos de trabajo tradicionales, ha generado gran impacto en el empleo siendo una herramienta fundamental para las familias, pues desde la perspectiva de la inteligencia artificial genera una transformación en la ingeniería, de la misma forma ⁽³⁸⁾ indican que la escasez de mano de obra ha afectado duramente al sector construcción, millones de puestos de trabajo permanecen vacantes, por ello las empresas ven la necesidad de mejorar las condiciones con inteligencia artificial, sin embargo ⁽³⁹⁾ sostienen que en el campo de la construcción existen problemas de distinto índole, que generalmente son solucionados por los profesionales de acuerdo a la experiencia o razonamiento, aun así, se puede emplear la inteligencia artificial para ser más objetivos, explotar más las habilidades y lograr un mejor trabajo.

Si bien es cierto, hay un rechazo de un porcentaje de la sociedad hacia la inteligencia artificial por temor a que los sustituyan en sus puestos de trabajo, este porcentaje pertenece a la clase obrera con carencia de conocimientos, sin embargo, por otro lado, están los operarios capacitados que aprueban la innovación porque para ellos es sinónimo de oportunidad laboral.

A pesar de ello el trabajo en la construcción muestra muchas fallas y deficiencias en los procesos, lo que ha conllevado el ingreso de nuevas tecnologías para acelerar los trabajos,

donde la inteligencia artificial ha tenido un crecimiento dentro de la población ⁽⁴⁰⁾, asimismo ⁽⁴¹⁾ las nuevas innovaciones tienen muchas ventajas para evaluar el desempeño de los materiales, mano de obra y el proceso constructivo ⁽⁴²⁾ de esta manera se puede contribuir con nuevas herramientas y una combinación de aprendizajes, conocimientos que abarca la inteligencia artificial.

Dhobale et al.^(43,44) el crecimiento de la tecnología artificial se complementa con la aplicación de sistemas modernos, lo que conlleva que la tecnología siga avanzando de manera rápida, ya que constantemente se renueva, por lo cual los trabajos en el rubro de la construcción vienen modificándose de acuerdo a los nuevos requerimientos, la construcción se caracteriza por mantener el bienestar y confortabilidad de la población.

Es preciso resaltar la importancia que tiene la innovación de materiales, equipos, herramientas en el sector de la construcción y todo ello gracias a la implementación de la inteligencia artificial, ya que incrementa las oportunidades laborales y mejora la capacidad de los trabajadores, para ello deben estar en constantes capacitaciones para que actualicen sus conocimientos y elaboren mejor sus trabajos.

Asimismo Liu et al.⁽⁴⁵⁾ indican que dentro de la población están los jóvenes que buscan llenarse de conocimientos para tener un buen puesto de trabajo, en el que están dispuestos a complementar con algunos cursos como de idiomas, turismo, construcción y más, ⁽⁴⁶⁾ en muchos países abren oportunidades a extranjeros que implementan idiomas aparte de su lengua materna, ellos que se implementa con clases en línea multimodal que va de la mano de la inteligencia artificial.

3.3 Rendimiento

El rendimiento es uno de los puntos que engloba el desarrollo de la ingeniería, para ello se busca que en el futuro exista una interacción constante con las nuevas tecnologías, tanto en programas como equipos ⁽⁴⁷⁾, por lo tanto ⁽⁴⁸⁾ mencionan que desde la antigüedad la tecnología mide el rendimiento para poder innovar y mejorarla cada vez más, de igual manera ⁽⁴⁹⁾ indican que para tener un mejor rendimiento dentro de la construcción se aplica la inteligencia artificial, ya que propone diversas habilidades, De acuerdo con ⁽⁵⁰⁾ las grúas son de mucha ayuda en el sitio de construcción, debido a la rapidez con la que se transporta los objetos de manera vertical u horizontal, sin embargo, el empleo de estas máquinas significa un alto costo que representa alrededor del 36% del costo del proyecto, por eso se le debe sacar el máximo provecho.

La implementación y uso de la inteligencia artificial mejora significativamente el rendimiento de los trabajos en cuanto a las labores, sin embargo, también conlleva a un gasto extra, pero si se le saca el mayor provecho posible, puede compensar o en el mejor de los casos beneficiarse, pero para ello es importante planificar y programar la operación de dicha máquina.

Asimismo Nguyen et al.⁽⁵¹⁾ detallan que la inteligencia artificial muestra resultados exitosos dentro del rendimiento y propiedades del concreto, en el que se emplea mapeos de entradas y salidas de los diseños estructurales para prevenir problemas de diseño el cual se desempeña en diferentes trabajos como vigas, columnas, zapata, entre otros elementos, sin embargo ⁽⁵²⁾ indican que el concreto como otros materiales de la construcción se han visto favorecidos con esta tecnología por el desarrollo de problemas complicados, por otro lado ⁽⁵³⁾ usaron redes neuronales para predecir la

resistencia a esfuerzos de compresión del concreto mezclado con caucho.

En cuanto al rendimiento ^(54,55,56) presentan como objeto analizar las propiedades mecánicas y rendimiento del concreto influenciada con la tecnología artificial, ya que anteriormente se empleaba los métodos estadísticos tradicionales para el estudio del concreto, los cuales han demostrado problemas en los cálculos y en la ejecución de proyectos; por ende, la inteligencia artificial va mostrando innovaciones que ayudan en el proceso del rendimiento del concreto para cumplir con los estándares, englobando el curado, la mezcla, el tipo de material, entre otros, concluyendo que la inteligencia artificial muestra grandes avances en las pruebas de materiales.

De esta manera se da a conocer que la tecnología dentro de la inteligencia artificial tiene ventajas en términos de precisión de medición para predecir el rendimiento sobre los métodos estadísticos convencionales, entonces para mejorar los modelos de predicción y precisión, se propone medidas como las características optimizadas.

3.4 Calidad y Seguridad

En la construcción existen una gran cantidad de problemas, pero una de las más importantes en esta industria es el riesgo que corren los trabajadores a tener un accidente causándole lesiones o incluso la muerte, ⁽⁵⁷⁾ indica que se puede aplicar la inteligencia artificial para moderar el comportamiento de los trabajadores y mejorar la seguridad en sus labores, ya que se recolecta imágenes enviadas desde un sistema de cámaras hacia una computadora operada por el personal adecuado.

Una idea similar tienen Ekanayake et al.⁽⁵⁸⁾ ya que se presenta un 88% de accidentes que se dan en las obras civiles por la mala orientación e información que se tiene de la seguridad en el trabajo. Muchas veces los trabajos puestos en

práctica no van de acuerdo a norma ni la participación de la inteligencia artificial lo que hace más factible la inseguridad, uno de ellos son los defectos estructurales donde se comprobó 130 accidentes por caídas de grúas, en la (Figura 2) se muestra los riesgos que podemos tener por no identificar condiciones y conductas seguras⁽⁵⁹⁾ así como las inundaciones que nos muestran el alcance de los eventos naturales por ello se busca la incorporación de redes neuronales mediante un sistema de inferencia neuro para reducir, desastres y así que se emplear un monitoreo del progreso de una obra.

La seguridad y la calidad se han convertido en factores muy importante en la construcción por la implementación de estrategias para el éxito de los proyectos, sin embargo, en la mayoría de obras se observa falta de supervisión y como resultado da el gran número de accidentes que se presenta en obra, la seguridad en la construcción no ha sido una parte integral de los proyectos de construcción, ni los contratistas, propietarios ni trabajadores se preocuparon por la seguridad en el lugar de trabajo, pero con la ayuda de la inteligencia artificial y la aplicación de los sistemas mencionados se ha notado una reducción en los accidentes y no solo eso, sino que también la productividad, costo y calidad.

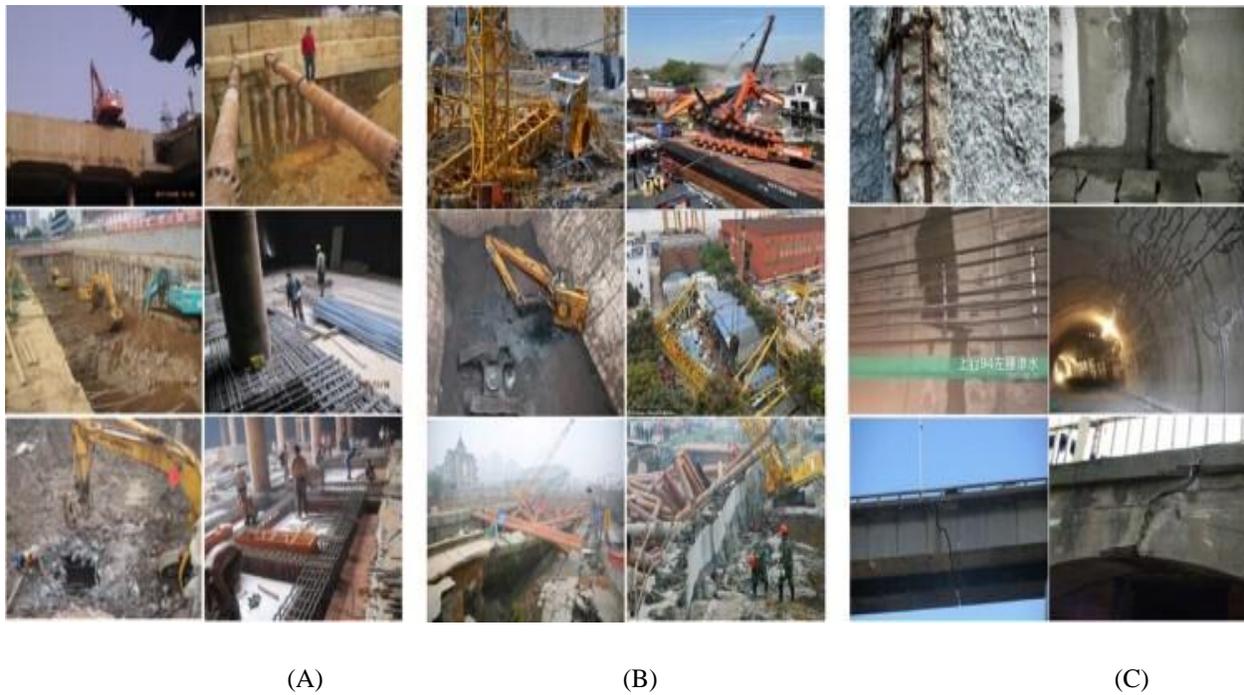


Figura 2: A) Ejemplo de comportamiento inseguro, B) planta insegura, (C) defectos estructurales. **Fuente** ⁽⁵⁸⁾

Segun Santos et al.⁽⁶⁰⁾ los investigadores buscan hacer de la industria de la construcción una actividad sostenible, por lo que propone emplear la metodología Building Information Modeling (BIM) para modelar edificaciones y contribuir en

las tres dimensiones que son ambiental, económica y social, de la misma manera ^(61,62) mencionan que un modelado de proyectos de infraestructura da más confianza, mejora el diseño y el proceso constructivo, gracias a ello este

proceso se aplica cada vez más en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción.

Una idea similar tiene ^(63,64) ya que sugiere integrar la metodología (BIM) para realizar modelos digitales y simulaciones de los proyectos, para que de esta manera se pueda ejecutarlos con mayor seguridad y calidad, ⁽⁶⁵⁾ le llaman uso de herramientas computacionales, lo cual ^(66,67) mencionan que usar esta metodología es eficiente, ya que se puede obtener datos y detalles precisos que pueden mejorar la gestión y productividad.

Se considera que BIM es el futuro de la construcción y este exige a los profesionales adaptarse a los nuevos tiempos, la parte laboral de la construcción como impulsora del sector pone a disposición de los profesionales que intervienen en todos los procesos que abarca un proyecto como el diseño, construcción y explotación lo que permitirá adquirir las nuevas competencias que exige el mercado en la actualidad. La metodología se está imponiendo dentro de la construcción ya que desempeña de manera concreta la seguridad y calidad.

Chakkravarthy ⁽⁶⁸⁾ presentan que la industria de la construcción es una ocupación muy peligrosa y que el desarrollo de aprendizaje automático en la construcción y la provisión correspondiente están destinados a proporcionar soluciones mejoradas para peligros potenciales y riesgos de seguridad en el entorno de la construcción, asimismo ⁽⁶⁹⁾ nos detalla que el rol de los ingenieros establecerá los límites, especificar los parámetros y evaluar si los proyectos obtenidos cumplen con las especificaciones del cliente, por ello la inteligencia artificial también puede ingresar al mercado y permita tanto a los especialistas como clientes explorar el espacio de la construcción.

Además con una mayor eficiencia, la inteligencia artificial puede conducir a avances en seguridad,

salud y calidad ya que la tecnología pueden usarse para evaluar sitios y completar actividades, y de esta manera enfocarse en el bienestar del personal de obra ⁽⁷⁰⁾, lo que se viene empleando en la actualidad en algunos países es la implementación de robots para algunos trabajos en las mobiliarias en la que se emplearon comandos simples para llevar información de acuerdo a su movimiento y características ⁽⁷¹⁾.

La inteligencia artificial nos presenta diversos avances para contribuir con la seguridad de los trabajadores dentro de la construcción, en donde siempre se ha buscado menorar los accidentes porque muchas veces existe muertes por los riesgos y dificultades que presentan las obras de construcción, por eso la incorporación de la inteligencia artificial es un punto indispensable.

Quiñones et al. ⁽⁷²⁾ hicieron una revisión con el objetivo de entender cómo influye la inteligencia artificial en las infraestructuras de líneas de agua, ya que por mucho tiempo se han visto muchos problemas de deterioro y ruptura de tuberías, posterior a ello la contaminación del agua; de esta manera llegaron a concluir que la inteligencia artificial puede mejorar la situación actual si se hace un modelado y evaluación anteproyecto, de esta manera mejoraría la calidad de la obra, de la misma manera ⁽⁷³⁾ investigaron sobre la calidad y seguridad que se debe tener en el trabajo, por lo que hablan de unos sensores en las maquinarias usadas para la excavación, ya que sería de mucha utilidad para detectar las conexiones subterráneas y no dañarlas.

Por otro lado, para el cálculo de la demanda de agua potable de una ciudad, se puede hacer uso de las redes neuronales artificiales, es una alternativa viable debido a que facilita el cálculo y el error es muy bajo, hay que tener en cuenta como está conformada su arquitectura de la RNA, sin embargo ⁽⁷⁴⁾ menciona que también se pueden usar para estimar el índice de calidad de agua.

Los encargados de ejecutar un proyecto deben de tomar las decisiones correctas en cuanto a las máquinas de gran tamaño, ya que el mínimo error puede generar desde pérdidas económicas hasta la pérdida de una vida humana, por ello el control de la seguridad es muy valiosa ⁽⁵⁰⁾, por otra parte si hablamos de seguridad ⁽⁷⁵⁾ cita los trabajos de inspección de túneles que se realizan de forma manual por trabajadores capacitados, siendo un proceso peligroso ya que se puede exponer al trabajador a zonas incómodas, entornos con escasez de oxígeno y luz o exponerse a sustancias tóxicas, por lo que propone usar tecnología robótica, una inteligencia artificial que podría

realizar inspecciones de calidad, recolectando datos e imágenes que después se pueden procesar.

Como ya se mencionó la seguridad es un tema importante dentro de la construcción, cada que pasa el tiempo van apareciendo nuevas tecnologías, como también nuevos desafíos dentro de la construcción, por ello se debe diseñar un sistema junto con la inteligencia artificial en materia de prevención de riesgos y así se pueda mitigar los accidentes laborales.

Tabla 3: Modelos de inteligencia artificial y rna utilizados en la industria de la construcción.

Ámbito de aplicación	Modelos de Inteligencia Artificial o RNA	Objetivos	Arquitectura	Interacciones inteligentes		Ventajas	Autor
				En el sitio	Remoto		
Cálculo y Diseño	Perceptrón multicapa	Cálculo y diseño de puentes	34-10-1	No detalla		Resultados en menor tiempo y con mayor precisión	(23)
	Vehículos no tripulados con cámara incorporada	Control y monitoreo de estructuras y recolección de datos para su evaluación	-	-	X	Recolección de imágenes de alta calidad, trabajo rápido y preciso, trabajador no se expone	(26), (27)
Tiempo y Dinero	Sistema de modelación	Determinar la rigidez de un suelo	-	X	-	Tiempo menor en obtención de resultados a comparación de los métodos tradicionales	(28)
	Perceptrón multicapa	Determinar las características del suelo	6-9-10-1-1	-	-	Predecir la humedad óptima del suelo	(31)
	Llamada y catálogo	Abastecimiento de insumos de	-	X	X	Ahorro de tiempo y dinero,	(35)

	virtual en tiempo real	manera rápida y eficaz				contrato con un solo proveedor	
	Perceptrón Multicapa	Disminuir la porosidad en el suelo	200(3)-1	No detalla		Crecimiento desde la base de un proyecto	(34)
Labores	Herramientas en general	Generar empleo	-	-	-	Incremento de mano de obra	(37), (38), (40), (41), (42)
	Perceptrón multicapa	Predecir la resistencia a la compresión de un concreto con caucho	6-9-3-2-1	No detalla		Enfoque alternativo y adecuado	(53)
Rendimiento	Maquinas grúa	Transportar de manera rápida objetos pesados	-	X	-	Mejora el rendimiento de los obreros encargados de transporte	(50)
	Mapeos de entradas y salidas de los diseños estructurales	Desarrollar efectivamente el diseño de columnas, vigas, con el sistema de mapeo	-	X	X	Precisión de los cálculos estructurales	(51), (52)
	Sistema de cámaras	Reducir los accidentes y evitar el deceso de vidas humanas	-	-	X	Seguimiento en tiempo real de diversas áreas en el puesto de trabajo	(57)
	Perceptrón Multicapa	Prevenir las inundaciones	04/05/2001	No detalla		Desarrollo de modelos para disminuir las inundaciones	(59)
Seguridad	La methodology Building Information Modeling (BIM)	Modelar edificaciones de manera digital y simulaciones de proyectos de obras civiles	-	-	X	Obtención de datos más precisos y tener una mejor seguridad y calidad	(60), (61,62), (63,64), (65), (66,67)
	Robots	Implementar el uso de robots en la verificación de riesgos de seguridad	-	X	X	Disminuir los accidentes y decesos de los trabajadores	(70), (71)
Calidad	Perceptrón neutral de tres capas	Cálculo de índice de calidad de agua (WQI)	06/12/2001	No detalla		Alternativa útil para el cálculo y predicción	(74)

Sensores en las maquinarias	Mejorar la calidad de los proyectos	-	X	-	El manejo de la inteligencia artificial en las estructuras de líneas de agua y su detección para evitar daños	(73)
Impresora 3D	Crear moldes de forma singular, impresión de elementos de concreto	-	X	X	Reduce la cantidad de desperdicio, mejora la calidad de acabados	(76), (77), (78)

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Herramientas Inteligentes en la Construcción

En la investigación de Yao et al.^(79,80) experimentaron un tipo de inteligencia artificial que consiste en sensores compuestos por fibra óptica que permite medir la fuerza de cables, esto se podría emplear en la construcción de puentes, obras de concreto pretensado u otras obras que requieran trabajar con cables, debido a la importancia y complejidad de estos trabajos el responsable debe ser muy cuidadoso, por tal motivo la idea de usar sensores es una alternativa viable, de la misma forma y sin dejar de lado la salud estructural ⁽⁸¹⁾ menciona unos sensores que se incorporan a la estructura para posterior a ello evaluar que estudio o tipo de mantenimiento requiere el elemento, este proceso permitiría optimizar las labores, obtener resultados más precisos, además de un trabajo eficaz y seguro.

Cheng et al.^(82,83) indican que la inteligencia artificial en la construcción demuestra que tiene distintas áreas en las que puede desempeñarse, como por ejemplo determinar la duración de una edificación a través del método pared de diafragma que se hace a los cimientos a base de

máquina de vectores en que se estudia los soportes de mínimos cuadrados, por otro lado ⁽⁸⁴⁾ expone que en la construcción se usa una serie de herramientas, algunas mecánicas y otras automáticas, siendo importante para perfeccionar la mano de obra y de esta manera darle el valor máximo a la productividad en la construcción, ⁽¹⁰⁾ indica que la construcción manual a menudo requiere un esfuerzo, tiempo y un costo considerables, el uso de robots para construir muros de edificios se puede observar fácilmente en la práctica en muchos países diferentes.

Las soluciones dentro de la inteligencia artificial van marcando gran diferencia, por ende, la fibra óptica no está ajena a esta evolución, ya que aporta en las infraestructuras donde podemos obtener información de los elementos estructurales, con el uso de esta tecnología se puede prevenir daños inesperados o predecir el futuro deterioro y evaluar los trabajos de mantenimiento adecuado, además se está buscando una dinámica junto con la inteligencia artificial para cambiar la industria de la construcción, en el que encontramos un universo de oportunidades y de innovaciones que mejoren

la mano de obra y permitan la rapidez de los trabajos, para optimizar el tiempo y gastos.

En cuanto al tema de acabados Van ⁽⁷⁶⁾ menciona una impresión 3D que podría usarse para fabricar encofrados de formas singulares y así tener un mejor acabado, pero también ⁽⁷⁷⁾ considera que la impresión 3D se puede emplear para hacer estructuras de concreto, es cierto que en la década de 1980 se implementó esta tecnología pero se limitó por los altos costos y la falta de investigación, pero hoy en día este método puede tener un impacto social y económico, de igual forma ⁽⁷⁸⁾ propone que se use la impresión 3D con concreto en edificios a gran escala, lo cual es un desafío tecnológico, además de ahorrar costos y tiempo .

De igual forma Mecklin⁽⁸⁵⁾ menciona que la implementación del 3D va aumentando dentro de la construcción lo que genera muchos beneficios a través de enfoques en diversas máquinas que hoy en día la tecnología nos presenta. En el rubro de la robótica han demostrado que la tecnología artificial viene desempeñándose de la mejor manera ya que los investigadores muestran sus argumentos a través de equipos y maquinas en las que tenemos los brazos robóticos que generan movimientos similares a los de los humanos lo que genera un desarrollo en la población prometedor ⁽⁸⁶⁾.

4. Conclusiones

La inteligencia artificial es una alternativa potencialmente viable que debería integrarse más en la industria de la construcción, dado que la cantidad de trabajos e investigaciones que existen hasta la actualidad ponen en evidencia los buenos resultados que da al usar materiales, herramientas, máquinas y sistemas innovadores, sin embargo, también existirían ventajas y desventajas por las nuevas innovaciones debido a que trae consigo

modificaciones y reemplazos en los puestos de trabajos.

Por otro lado, en muchos países hay limitaciones para el uso de la inteligencia artificial en la industria de la construcción, un motivo esencial es la escasa educación para el uso de nuevas tecnologías, lo cual genera que por más que se desee implementar tecnología en la construcción no va a rendir y va a generar costos innecesarios.

La Inteligencia Artificial ha cambiado el mundo y la forma en que nos relacionamos, además existe una importancia dentro de la construcción, con las innovaciones que se ejecutan hoy en día, donde nos presenta ventajas que ayudan a mejorar el desarrollo de los proyectos en las que encontramos; diseño, productividad, servicio de cámaras, anticipar, prevenir y mitigar los riesgos, reducción de tiempos y costos que se presentan dentro de la construcción.

El presente documento se revisó ampliamente una literatura para entender sistemáticamente el rol que ejerce la inteligencia artificial en la industria de la construcción, en temas importantes como, labores, tiempo, dinero, rendimiento, calidad, seguridad y herramientas inteligentes que se están implementando, sin embargo se recomienda la investigación profunda debido a la importancia de la fusión de estos dos temas que engloban soluciones y buenos resultados en el avance y desarrollo de la construcción, como también la aceptación y el impacto social que genera la tecnología.

5. Referencias bibliográficas

- (1). Yue P, Limao Z. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*. 2021; 122: p. 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517>

- (2). Darko A, Chan A, Adabre M, Edwards D, Hosseini R, Ameyaw E. Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automation in Construction*. 2020; 112: p. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081>
- (3). Castro L, Carballal A, Rodríguez N, Santos I, Romero J. Artificial intelligence applied to conceptual design. A review of its use in architecture. *Automation in Construction*. 2021; 124(103550). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103550>
- (4). Zhang Y, Liu H, Kang SC, Al-Hussein M. Virtual reality applications for the built environment: Research trends and opportunities. *Automation in Construction*. 2020; 118: p. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103311>
- (5). An Y, Li H, Su T, Wang Y. Determining Uncertainties in AI Applications in AEC Sector and their Corresponding Mitigation Strategies. *Automation in Construction*. 2021; 131: p. 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103883>
- (6). Burgueño R, Salehi H. Emerging artificial intelligence methods in structural engineering. *Engineering Structures*. 2018; 171: p. 170-189. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.084>
- (7). Martinez P, Al-Hussein M, Ahmad R. A scientometric analysis and critical review of computer vision applications for construction. *Automation in Construction*. 2019; 107: p. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102947>
- (8). Zhijia Y, Lingjun F. Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System. *IEEE Access*. 2020; 8: p. 122908 - 122922. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007206>
- (9). Hirosuke H. advancement of vehicle occupant restraint system design by integration of artificial intelligence technologies. *International Journal of Transport Development and Integration*. 2021; 5(3): p. 242-253. <https://doi.org/10.2495/TDI-V5-N3-242-253>
- (10). Sharma S, Ahmed S, Naseem , Alnumay S, Singh , Hwan Cho. A Survey on Applications of Artificial Intelligence for Pre-Parametric Project Cost and Soil Shear-Strength Estimation in Construction and Geotechnical Engineering. *sensors*. 2021; 21(2): p. 1 - 44. <https://doi.org/10.3390/s21020463>
- (11). Brandoli B, de Geus AR, Souza J, Spadon G, Soares A, Rodrigues Jr JF, et al. Aircraft Fuselage Corrosion Detection Using Artificial Intelligence. *Sensors*. 2021; 21(12). <https://doi.org/10.3390/s21124026>
- (12). Zhong B, Wu H, Li H, Sepasgozar S, Luo H, He L. A scientometric analysis and critical review of computer vision applications for construction. *Automation in Construction*. 2019; 101: p. 17-31. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.013>
- (13). Beloev I, Kinaneva D, Georgiev G, Hristov G, Zahariev P. Artificial Intelligence-Driven Autonomous Robot for Precision Agriculture. *Acta Technologica Agriculturae*. 2021; 24(1): p. 48 - 54. <https://doi.org/10.2478/ata-2021-0008>
- (14). Manzoor B, Othman , Durdyev S, Ismail S, Hussaini Wahab M. Influence of Artificial Intelligence in Civil Engineering toward Sustainable Development-A Systematic Literature Review. *Applied System Innovation*. 2021; 4(3). <https://doi.org/10.3390/asi4030052>
- (15). Manh Duc , Binh Thai P, Tran Thi T, Hoang Phan , Indra P, Thanh Tien , et al. Development of an Artificial Intelligence Approach for

- Prediction of Consolidation Coefficient of Soft Soil: A Sensitivity Analysis. *Open Construction and Building Technology Journal*. 2019; 13(1): p. 178 - 188. <https://doi.org/10.2174/1874836801913010178>
- (16). Emman Aladejare A, Damola Alofe , Onifade , Ismail Lawal , Malachi Ozoji T, Xian Zhang. Empirical Estimation of Uniaxial Compressive Strength of Rock: Database of Simple, Multiple, and Artificial Intelligence-Based Regressions. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2021; 39(6): p. 4427-4455. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01772-5>
- (17). Liu P, Jiang , Wang X, Li H, Sun H. Research and application of artificial intelligence service platform for the power field. *Global Energy Interconnection*. 2020; 3(2): p. 175-185. <https://doi.org/10.1016/j.gloi.2020.05.009>
- (18). Beljkas Z, Knezevic M, Rutesic S, Ivanisevic N. Application of Artificial Intelligence for the Estimation of Concrete and Reinforcement Consumption in the Construction of Integral Bridges. *Advances in Civil Engineering*. 2020; 2020: p. 8. <https://doi.org/10.1155/2020/8645031>
- (19). Ha Q, Yen L, Balaguer C. Robotic autonomous systems for earthmoving in military applications. *Automation in Construction*. 2019; 107: p. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102934>
- (20). Zewdu Taffese W, Admassu Abegaz K. Artificial Intelligence for Prediction of Physical and Mechanical Properties of Stabilized Soil for Affordable Housing. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021; 11(16). <https://doi.org/10.3390/app11167503>
- (21). Visveshwar N, Vignesh K, Vimal S. Artificial Intelligence Modelling and Analysis of Pivotal Parameters in Drilling Hybrid Fiber Composite (HFC). *FME Transactions*. 2017; 45(4): p. 641 - 646. <https://doi.org/10.5937/fmet1704641N>
- (22). Abioye S, Oyedele L, Akanbi L, Ajayi A, Davila J, Bilal M, et al. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*. 2021; 44(103299). <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.103299>
- (23). García T, Yepes V, Frangopol D. Multi-objective design of post-tensioned concrete road bridges using artificial neural networks. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2017; 56(1): p. 139-150. <https://doi.org/10.1007/s00158-017-1653-0>
- (24). Dabous S, Feroz S. Condition monitoring of bridges with non-contact testing technologies. *Automation in Construction*. 2020; 116. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103224>
- (25). Pavani N, Prapoorna K. Pavement asset management systems and technologies: A review. *Automation in Construction*. 2020; 119(3). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103336>
- (26). Sony S, Dunphy K, Sadhu A, Capretz M. A systematic review of convolutional neural network-based structural condition assessment techniques. *Engineering Structures*. 2021; 226. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111347>
- (27). Liu Y. Construction of Marine Economic Forecast Management System Based on Artificial Intelligence. *Journal of Coastal Research*. 2020;(112): p. 228-230. <https://doi.org/10.2112/JCR-SI112-063.1>

- (28). Khajeh Pasha SM, Hazarika , Yoshimoto. Estimating dynamic characteristics of gravel-tire chips mixtures using artificial intelligence techniques. *Journal of the Society of Materials Science*. 2020; 69(1): p. 1-8. <https://doi.org/10.2472/jsms.69.1>
- (29). Ateş T, Şahin C, Kuvvetli Y, Küren A, Uysal A. Sustainable production in cement via artificial intelligence based decision support system: Case study. *Case Studies in Construction Materials*. 2021; 15: p. 00628. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00628>
- (30). Zewdu W, Sistonen E. Machine learning for durability and service-life assessment of reinforced concrete structures: Recent advances and future directions. *Automation in Construction*. 2017; 77: p. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.016>
- (31). Tizpa P, Jamshidi Chenari , Karimpour Fard M, Lemos Machado. ANN prediction of some geotechnical properties of soil from their index parameters. *Arabian Journal of Geosciences*. 2015; 8(5): p. 2911-2920. <https://doi.org/10.1007/s12517-014-1304-3>
- (32). Gomez A, Granados M, Pérez I. Improving construction material and equipment logistics via simulation. *Ingeniería Y Competitividad*. 2015; 17(1): p. 85-94. <https://doi.org/10.25100/iyv.v17i1.2203>
- (33). Wan J, Li X, Dai HN, Kusiak, Martínez-García, Li D. Artificial-Intelligence- Driven Customized Manufacturing Factory: Key Technologies, Applications, and Challenges. *Proceedings of the IEEE*. 2021; 109(4). <https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.3034808>
- (34). Dehghani , Zilian. Poroelastic model parameter identification using artificial neural networks: on the effects of heterogeneous porosity and solid matrix Poisson ratio. *Computational Mechanics*. 2020; 66(3): p. 625-649. <https://doi.org/10.1007/s00466-020-01868-4>
- (35). Cohen B. Artificial intelligence: Here it comes: This technology will pose something of a make-or-break challenge. *PM Engineer*. 2020; 26(1): p. 58-59.
- (36). Torres P. The possibility and risks of artificial general intelligence. *BULLETIN OF THE ATOMIC SCIENTISTS*. 2019; 75(3): p. 105-108. <https://doi.org/10.1080/00963402.2019.1604873>
- (37). Guang C. Development of migrant workers in construction based on machine learning and artificial intelligence technology. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 2020; 40(4): p. 6629-6640. <https://doi.org/10.3233/JIFS-189499>
- (38). Shneiderman. Viewpoint Responsible AI: Bridging From Ethics to Practice: Recommendations for increasing the benefits of artificial intelligence technologies. *Communications of the ACM*. 2021; 64(8): p. p32-35. <https://doi.org/10.1145/3445973>
- (39). Falcone R, Lima C, Martinelli E. Soft computing techniques in structural and earthquake engineering: a literature review. *Engineering Structures*. 2020; 207(4). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110269>
- (40). Xin Z, Xianqing L. Fault Diagnosis Method of the Construction Machinery Hydraulic System Based on Artificial Intelligence Dynamic Monitoring. *Mobile Information Systems*. 2021; 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/1093960>
- (41). Nguyen HT, Nguyen K, Le TC, Zhang G. Review on the Use of Artificial Intelligence to Predict Fire Performance of Construction

Materials and Their Flame Retardancy molecules. 2021; 26(4): p. 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules26041022>

(42). Li. The Construction of Intelligent English Teaching Model Based on Artificial Intelligence. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*. 2017; 12(12): p. 35-44. <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i12.7963>

(43). Dhobale N, Mulik S, Jegadeeshwaran R, Patange A. Supervision of Milling Tool Inserts Using Conventional and Artificial Intelligence Approach: A Review. *Sound & Vibration*. 2021; 55(2). <https://doi.org/10.32604/sv.2021.014224>

(44). Howard W, Peter W. Magic in Pieces: An Analysis of Magic Trick Construction Using Artificial Intelligence as a Design Aid. *APPLIED ARTIFICIAL INTELLIGENCE*. 2016; 30(1): p. 16-28. <https://doi.org/10.1080/08839514.2015.1121068>

(45). Liu S, Wang J. Ice and snow talent training based on construction and analysis of artificial intelligence education informatization teaching model. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 2021; 40(2): p. 3421-3431. <https://doi.org/10.3233/JIFS-189380>

(46). Qianjing M, Lin T. An artificial intelligence based construction and application of english multimodal online reading mode. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*. 2021; 40(2): p. 3721-3730. <https://doi.org/10.3233/JIFS-189406>

(47). Wang Y, Cao Z, Farimani AB. Efficient water desalination with graphene nanopores obtained using artificial intelligence. *npj 2D Mater Appl*. 2021; 5(66). <https://doi.org/10.1038/s41699-021-00246-9>

(48). Bello S, Oyedele L, Akinade O, Bilal M, Davila J, Akambi L, et al. Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges. *Automation in Construction*. 2021; 122(1). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103441>

(49). Rossi L, Winands H, Butenweg. Monte Carlo Tree Search as an intelligent search tool in structural design problems. *Engineering with Computers*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00366-021-01338-2>

(50). Hussein M, Zayed T. Crane operations and planning in modular integrated construction: Mixed review of literature. *Automation in Construction*. 2021; 122(103466). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103466>

(51). Nguyen T, Nguyen C, Hong WK. Artificial intelligence-based noble design charts for doubly reinforced concrete beams. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2021; 23(1): p. 1346-7581.

(52). Dao DV, Trinh SH, Ly HB, Pham BT. Prediction of compressive strength of geopolymers concrete using entirely steel slag aggregates: Novel hybrid artificial intelligence approaches. *Applied Sciences*. 2019; 9(6). <https://doi.org/10.3390/app9061113>

(53). Hadzima M, Karlo E, Ademovic N, Milicevic I, Kalman T. Modelling the Influence of Waste Rubber on Compressive Strength of Concrete by Artificial Neural Networks. *materials*. 2019; 12(2). <https://doi.org/10.3390/ma12040561>

(54). Hu , Li B, Mo Y, Alsawi O. Progress in artificial intelligence-based prediction of concrete performance. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2021; 19(8). <https://doi.org/10.3151/jact.19.924>

(55). Sun H, Burton H, Huang H. Machine learning applications for building structural design and performance assessment: State - of - the - art review. *Journal of Building Engineering*. 2021; 33(4). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101816>

(56). Tsiptsis I, Liimatainen L, Kotnik T, Niiranen J. Structural optimization employing isogeometric tools in Particle Swarm Optimizer. *Journal of Building Engineering*. 2019; 24(1007761). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100761>

(57). Fang W, Ding L, Love P, Luo H, Li H, Peña F, et al. Computer vision applications in construction safety assurance. *Automation in Construction*. 2020; 110: p. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103013>

(58). Ekanayake B, Kwok-Wai J, Fard A, Smith P. Computer vision-based interior construction progress monitoring: A literature review and future research directions. *Automation in Construction*. 2021; 127: p. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103705>

(59). Hassanvand R, Karami , Mousavi SF. Investigation of neural network and fuzzy inference neural network and their optimization using meta-algorithms in river flood routing. *Natural Hazards* volume. 2018; 94(3): p. 1057-1080. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3456-z>

(60). Santos R, Aguiar A, Silvestre J, Pyl L. Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. *Automation in Construction*. 2019; 103: p. 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022>

(61). Boje C, Guerriero A, Kubicki S, Rezgui Y. Towards a semantic Construction Digital Twin:

Directions for future research. *Automation in Construction*. 2020; 114. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>

(62). Yin X, Liu H, Chen Y, Al-Hussein M. Building information modelling for off-site construction: Review and future directions. *Automation in Construction*. 2019; 101: p. 72-91. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.010>

(63). Jiménez Y, Sarmiento J, Gómez A, Leal G. Analysis of the environmental sustainability of buildings using BIM (Building Information Modeling) methodology. *Ingeniería Y Competitividad*. 2017; 13(1): p. 230-240.

(64). Tang S, Shelden D, Eastman C, Pishdad , Pardis , Gao X. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*. 2019; 101: p. 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>

(65). Forero G, Guerrero C, Herrera D. Computational hydrology and hydraulics applied to Tunal rainwater supply in Paipa, Boyacá Colombia. *Ingeniería y Competitividad*. 2021; 23(2). <https://doi.org/10.25100/iyc.v23i2.9502>

(66). Abdirad H, Mathur P. Artificial intelligence for BIM content management and delivery: Case study of association rule mining for construction detailing. *Advanced Engineering Informatics*. 2021; 50(101414). <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101414>

(67). Sacks R, Girolami M, Brilakis I. Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. *Developments in the Built Environment*. 2020; 4(100011). <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100011>

- (68). Chakkravarthy R. Artificial intelligence for Construction Safety. *Professional Safety*. 2019; 64(1): p. 45-45.
- (69). Pierce K. How virtual design, artificial intelligence impact engineers: Architecture, engineering and construction professionals will be impacted by virtual design and artificial intelligence tools. *Consulting Specifying Engineer*. 2020; 59(9).
- (70). Zhang J. Development of Internet Supply Chain Finance Based on Artificial Intelligence under the Enterprise Green Business Model. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021; 2021.<https://doi.org/10.1155/2021/9947811>
- (71). Anh MN, Bien DX. Voice Recognition and Inverse Kinematics Control for a Redundant Manipulator Based on a Multilayer Artificial Intelligence Network. *Journal of Robotics*. 2021; 2021: p. 1687-9600.<https://doi.org/10.1155/2021/5805232>
- (72). Dawood T, Elwakil E, Mayol H, Gárate , José. Artificial intelligence for the modeling of water pipes deterioration mechanisms. *Automation in Construction*. 2020; 120. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103398>
- (73). Naghshbandi N, Varga L, Hu Y. Technologies for safe and resilient earthmoving operations: A systematic literature review. *Automation in Construction*. 2021; 125. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103632>
- (74). Quiñones L, Ochoa T, Gamarra O, Bazán J, Delgado J, Kemper N. Red neuronal artificial para estimar un índice de calidad de agua. *Enfoque UTE*. 2020; 11(2): p. 113-124. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n2.633>
- (75). Montero R, Victores J, Jardón A, Balaguer C. Past, present and future of robotic tunnel inspection. *Automation in Construction*. 2015; 59: p. 99-112. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.003>
- (76). Van H. Concrete material science: Past, present, and future innovations. *Cement and Concrete Research*. 2018; 112: p. 5-24. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.002>
- (77). Khan M, Sanchez F, Zhou H. 3-D printing of concrete: Beyond horizons. *Cement and Concrete Research*. 2020; 133(106070). <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106070>
- (78). Tramontin M, Maia I, Guzi E, Senff L, Novaes A. 3D printed concrete for large-scale buildings: An overview of rheology, printing parameters, chemical admixtures, reinforcements, and economic and environmental prospects. *Journal of Building Engineering*. 2020; 32(101833). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101833>
- (79). Yao Y, Yam M, Bao Y. Measurement of cable forces for automated monitoring of engineering structures using fiber optic sensors: A review. *Automation in Construction*. 2021; 1126(1). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103687>
- (80). Taheri S. A review on five key sensors for monitoring of concrete structures. *Construction and Building Materials*. 2019; 204: p. 492-509. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.172>
- (81). Salehi H, Burgueño R, Chakrabartty S, Lajnef N, Alavi A. A comprehensive review of self-powered sensors in civil infrastructure: State-of-the-art and future research trends. *Engineering Structures*. 2021; 234(111963). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111963>

(82). Cheng MY, Hoang ND. Estimating construction duration of diaphragm wall using firefly-tuned least squares support vector machine. *Neural Computing and Applications*. 2018; 30: p. 2489-2497. <https://doi.org/10.1007/s00521-017-2840-z>

(83). Zhao S. Tone Recognition Database of Electronic Pipe Organ Based on Artificial Intelligence. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021; 2020. <https://doi.org/10.1155/2021/5526517>

(84). Ebrahimi, Fayek R, Sumati. Hybrid Artificial Intelligence HFS-RF-PSO Model for Construction Labor Productivity Prediction and Optimization. *Algorithms*. 2021; 14(77). <https://doi.org/10.3390/a14070214>

(85). Mecklin J. Dealing realistically with the artificial intelligence revolution. *Bulletin of the atomic scientists*. 2019; 75(3): p. 93-94. <https://doi.org/10.1080/00963402.2019.1604812>

(86). Blanco JL, Fuchs S, Parsons M, Ribeirinho J. Artificial intelligence: construction technology's next frontier. *The Building Economist*. 2018; p. 7-13, 2018.