



Estudio bibliográfico sobre la aplicación de la inteligencia artificial y análisis big data en la gestión de calidad en proyectos de ingeniería civil.

Autor / Author: <p style="text-align: center;">HAUNG KEXIN</p>	Fecha / Date: <p style="text-align: center;">Enero, 2024</p>
Director / Supervisor: <p style="text-align: center;">Jaime Jimenez Ayala</p>	N° páginas / N° pages: <p style="text-align: center;">111</p>
Departamento / Department – Máster / Master: <p style="text-align: center;">E.T.S.I. CAMINOS, CANALES Y PUERTOS MÁSTER UNIVERSITARIO EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN EN INGENIERÍA CIVIL</p>	
Universidad / University: <p style="text-align: center;">UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	
Palabras clave / Keywords: <p style="text-align: center;">IA <i>Big Data Analítica</i> <i>Gestión de calidad de proyectos</i></p>	



RESUMEN

En la era actual, marcada por una sociedad de la información en constante evolución, nos encontramos con una proliferación de datos en diversos sectores. Estos datos, cuando se manejan a través de métodos técnicos avanzados para su extracción, análisis y procesamiento, ofrecen un potencial de beneficio significativo para las compañías. En la industria de la construcción, caracterizada por un incremento en la generación de datos y una ampliación en la magnitud de las operaciones comerciales, entender y aplicar eficientemente el valor de estos grandes volúmenes de datos para la gestión de proyectos constructivos se ha convertido en un imperativo para las empresas que buscan una posición dominante en el mercado. Este auge ha coincidido con el rápido desarrollo de la industria de la construcción y ha fomentado la emergencia de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial (IA), Building Information Modelling (BIM) e Internet+, las cuales han sido catalizadores del progreso en este sector. Este estudio se propone investigar las ventajas, desafíos y limitaciones de estas tecnologías innovadoras. Se realiza mediante un examen exhaustivo de la literatura existente y un análisis teórico sobre la implementación de inteligencia artificial y big data en la gestión de calidad de proyectos de ingeniería civil. Se incluye un estudio detallado del proyecto del puente Hong Kong-Zhu Hai-Macao (HZMB), con el objetivo de ofrecer perspectivas renovadas y estrategias para el mejoramiento de la gestión de calidad en ingeniería. Además, se presentan recomendaciones para investigaciones futuras en este ámbito.

Palabras clave: IA Big Data Analítica Gestión de calidad de proyectos



ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	9
1.1 Antecedentes e importancia del estudio	9
1.1.1 Contexto social y económico	9
1.1.2 Tendencias mundiales y del sector	9
1.1.3 Retos y necesidades de la gestión de la calidad	11
1.1.3.1 Retos de la gestión de la calidad	11
1.1.3.2 Demanda de gestión de la calidad	12
1.1.4 Perspectivas de futuro	12
2. Objetivos del estudio	13
2.1 Objetivo general	13
2.2 Objetivos específicos	13
3. Metodología de investigación	14
3.1 Búsqueda bibliográfica	14
3.2 Criterios de selección de la bibliografía	15
3.3 Extracción de datos	15
3.3.1 Categorías de información	15
3.3.2 Gestión de datos	16
3.4 Métodos de análisis	16
3.4.1 Análisis cualitativo	16
3.4.2 Análisis cuantitativo	16
4. Revisión bibliográfica	16
4.1 Desarrollo histórico de la literatura	16
4.1.1 Primeras etapas de la investigación	17
4.1.2 Apogeo de la investigación	17
4.1.3 Puntos de inflexión e hitos importantes	18
4.2 Definición de la gestión de la calidad de los proyectos de ingeniería civil	18
4.3 Importancia y objetivos de la gestión de la calidad en los proyectos de ingeniería civil	20
4.3.1 Importancia de la gestión de la calidad en la ingeniería civil	20
4.3.2 Objetivos de la gestión de la calidad en ingeniería civil	21
4.3.3 El propósito de la gestión de la calidad en ingeniería civil	21



5. aplicación de la IA a la gestión de la calidad.....	22
5.1 Clasificación de la literatura	22
5.1.1 Propósito.	22
5.1.2 Métodos y campos	22
5.2 Conceptos básicos de IA	38
5.2.1 Definición y origen.....	38
5.2.2 Principales ramas y campos de aplicación.	38
5.2.3 La diferencia entre la IA y la informática tradicional.....	39
5.3 Aplicación de la IA a la gestión de la calidad	40
5.3.1 Fase de preparación y diseño del anteproyecto	41
5.3.2 Fase de licitación y contrato	42
5.3.3 fase de preparación de la construcción.....	42
5.3.4 Fase de ejecución de la obra	43
5.3.5 Fase de aceptación y entrega del proyecto.....	46
5.3.6 Fase de evaluación y mantenimiento posterior al proyecto.....	47
5.4 Retos de la IA en el ámbito de la gestión de la calidad en la ingeniería de la construcción	48
5.4.1 Retos tecnológicos.....	48
5.4.2 Desafíos en economía.....	48
5.4.3 Retos medioambientales y políticos.....	49
6. big data analytics en la gestión de la calidad.....	49
6.1 sificación de la literatura	49
6.2 Conceptos básicos de Big Data y Data Analytics	62
6.2.1 Conceptos básicos de Big Data	62
6.2.2 Características que poseen los Big Data	62
6.2.3 Análisis de Big Data.....	63
6.3 Aplicación del análisis de big data en la gestión de calidad de proyectos de ingeniería civil	64
6.3.1 Fase de planificación del proyecto	64
6.3.2 Fase de gestión de la construcción.....	65
6.3.3 Control preciso de los costes de inversión en ingeniería	67
6.3.4 Aplicación combinada con otras tecnologías	67
6.3.5 Control de calidad y mantenimiento	67
6.4 Problemas y retos de la analítica de big data en la gestión de la calidad de la ingeniería	68
6.4.1 Calidad y precisión de los datos	68



6.4.2 Adquisición e integración de datos	69
6.4.3 Requisitos técnicos y de competencias	69
6.4.4 Seguridad de datos y privacidad.....	70
6.4.5 Recursos y costes.....	70
6.4.6 Retos de los análisis en tiempo real	70
6.4.7 La finalidad de la minería de información de la tecnología de big data no es sólida.....	71
6.4.8 La información de integración de la tecnología Big Data está por detrás de las necesidades de gestión de proyectos.....	71
7. Integración de la IA y el Big Data Analytics en la Gestión de la Calidad. ..	71
7.1 Colaboración y conflicto en la literatura	71
7.2 Sinergias entre IA y Big Data Analytics	80
7.2.1 Cómo se adapta la IA al Big Data	80
7.2.2 Cómo utiliza la IA los macrodatos	80
7.2.3 Cómo funcionan los macrodatos con la IA.....	80
7.3 Ventajas y retos potenciales de la integración en la gestión de la calidad de la ingeniería civil	80
7.3.1 Ventajas de la integración de IA y Big Data Analytics	81
7.3.2 Desafíos de la IA y la Analítica de Big Data en la Gestión de la Ingeniería Civil	83
8. Estudio de casos.	84
8.1 Antecedentes del proyecto	84
8.2 Metodología de la investigación.....	85
8.3 Aplicaciones técnicas	86
8.4 Retos y soluciones.....	97
8.5 Importancia del caso.....	98
8.6 Lecciones aprendidas y perspectivas de futuro:	98
8.6.1 Lecciones aprendidas.	98
8.6.2 Perspectivas de futuro.....	99
8.6.3 Desafíos a prueba de futuro	99
9. Conclusión	99
9.1 Evaluación general de la literatura	99
9.2 Puntos de controversia en la literatura	100
9.3 Resumen de las conclusiones más relevantes.....	101
9.4 Contribución de este estudio y su impacto en la gestión de la calidad en proyectos de ingeniería civil	101
9.5 Lagunas en la investigación y recomendaciones.....	102
10. Limitaciones de la investigación.....	103



10.1 Limitaciones metodológicas.	103
10.2 Limitaciones de los datos y los marcos teóricos.....	104
10.3 Recomendaciones para futuras investigaciones.	105
11.REFERENCIAS.	107



ÍNDICE DE GRÁFICO

GRÁFICO 1	1.1.2 Mapa del sector de la tecnología de la construcción	10
GRÁFICO 2	4.1 Historia del desarrollo de la bibliografía pertinente sobre gestión de la calidad	17
GRÁFICO 3	4.2 Diagrama de flujo de trabajo de la gestión de la calidad en ingeniería	19
GRÁFICO 4	5.1.2 Historia del desarrollo de la literatura sobre IA en Ingeniería Civil	23
GRÁFICO 5	5.2.2 Subdirección de IA	39
GRÁFICO 6	5.3.4 El reconocimiento inteligente puntúa los cascos según su posición de uso	44
GRÁFICO 7	6.1 Evolución de la literatura sobre análisis de macrodatos	49
GRÁFICO 8	8.4 Flujo de trabajo de supervisión de la seguridad de estructuras de puentes con la pasarela industrial 5G	90
GRÁFICO 9	8.4 Inteligencia artificial Instrumento de reconocimiento facial	92
GRÁFICO 10	8.4 Inteligencia artificial Instrumento de reconocimiento facial	92
GRÁFICO 11	8.4 Diagrama esquemático de la inspección de seguridad de puentes inteligentes 5G	94
GRÁFICO 12	8.4 Identificación inteligente de los cruces	95
GRÁFICO 13	8.4 Identificación inteligente de los cruces	95
GRÁFICO 14	8.4 Oficina de venta de billetes de autobús Express Shuttle	95
GRÁFICO 15	8.4 Identificación inteligente de estaciones de vehículos	95
GRÁFICO 16	8.4 Autobús lanzadera exprés	96
GRÁFICO 17	8.4 Los conductores que adelantan	97

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	5.1.2 Porcentaje de IA en cada campo	24
TABLA 2	5.1.2 Análisis de la literatura relacionada con la IA y la gestión de la calidad en ingeniería	37
TABLA 3	5.3 Investigación sobre la aplicación de la IA en la gestión de proyectos de ingeniería	41
TABLA 4	6.1 Aplicación de Big Data Analytics en la gestión de la calidad de la ingeniería	61
TABLA 5	7.1 Aplicación de Big Data Analytics e IA en la Gestión de la Calidad en Ingeniería	79

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Abreviaturas	Significado
AEC	Arquitectura, ingeniería y construcción
AFE	Análisis factorial exploratorio
ANN	Redes neuronales artificiales
BIM	Building Information Modelling
CEM	Ingeniería y gestión de la construcción
CNN	Las redes neuronales convolucionales
ELM	Las máquinas de aprendizaje extremo
DL	Aprendizaje profundo
GA	Algoritmos genéticos
GB	Refuerzo gradiente
HZMB	Puente Hong Kong-Zhu Hai-Macao
IA	Inteligencia artificial
IoT	Internet de las Cosas
LSTM	Memoria larga a corto plazo
MEF	Método de elementos finitos



ML	Aprendizaje Automático
NFS	Sistemas Neuro-Fuzzy
PLN	Lenguaje natural
PR	Reconocimiento de patrones
SHM	Salud estructural
SPI	Sistemas físicos de información
SVM	Vectores de apoyo

1. Introducción

1.1 Antecedentes e importancia del estudio

1.1.1 Contexto social y económico

La ingeniería civil juega un papel crucial en la sociedad moderna, siendo un sector que se valoraba en 11,72 billones de dólares en 2021 y que se espera alcance los 12,26 billones en 2023, con una tasa de crecimiento anual actual del 3,3% (Narain, 2021). Con la urbanización acelerándose globalmente, surge una necesidad creciente de infraestructura para satisfacer las demandas de una población urbana en aumento, incluyendo viviendas, carreteras, puentes, transporte público y sistemas de alcantarillado. Una infraestructura eficiente facilita el movimiento de personas y bienes, mejorando la operatividad general de las ciudades y atrayendo más residentes, negocios e inversiones.

La inversión en infraestructura es considerada un catalizador del crecimiento económico. No solo genera empleo a corto plazo en la construcción, sino que también apoya la actividad económica a largo plazo. Infraestructuras como autopistas, puertos y aeropuertos facilitan el comercio nacional e internacional, incrementando la competitividad económica de un país. Además, los proyectos de infraestructura pueden contribuir a resolver desigualdades socioeconómicas locales, creando empleo, ofreciendo oportunidades a pequeñas y medianas empresas, eliminando barreras a la inclusión social y mejorando el bienestar de los afectados por estos proyectos.

A medida que la sociedad se desarrolla, los proyectos de construcción se vuelven más diversos y funcionales, con estructuras físicas más complejas, grandes dimensiones y periodos de construcción prolongados. Esto hace que la gestión de la calidad y la seguridad en la construcción sea aún más crucial. Los problemas de calidad en la ingeniería civil pueden tener consecuencias adversas como pérdida de confianza pública, retrasos en los beneficios esperados, excesos presupuestarios y pérdida de confianza de inversores y entidades crediticias.

En el caso de los proyectos de construcción residencial, la expansión refleja la urbanización a gran escala. Ante las rápidas transformaciones socioeconómicas, el enfoque tradicional en la gestión de proyectos de construcción ha demostrado ser insuficiente. Por lo tanto, una reforma integral en la industria de la construcción, centrada en mejorar la gestión de calidad en proyectos residenciales, es esencial para asegurar un desarrollo sostenible y saludable del sector.

1.1.2 Tendencias mundiales y del sector

El sector de la construcción, que emplea aproximadamente al 7% de la mano de obra mundial

y representa una parte significativa de la economía global, ha experimentado una evolución más lenta en comparación con otras industrias. A pesar de que particulares y empresas invierten anualmente alrededor de 10 billones de dólares en actividades de construcción, este sector ha mostrado un crecimiento anual de tan solo el 1% en las últimas décadas. Esta cifra contrasta con la tasa de crecimiento del 3,6% en el sector manufacturero y el crecimiento económico mundial del 2,8%.

La productividad en la construcción, medida como la producción económica total por trabajador, ha permanecido estancada. Mientras que la productividad en sectores como el comercio minorista, la manufactura y la agricultura ha aumentado en un 1.500% desde 1945, la construcción no ha experimentado un incremento similar. Una de las principales razones de este fenómeno es la baja digitalización de la industria de la construcción y su lenta adopción de nuevas tecnologías. A diferencia de otras industrias que han logrado transformar sus resultados de productividad mediante el uso de tecnologías como la inteligencia artificial (IA), la construcción aún no ha capitalizado plenamente estas oportunidades de innovación (McKinsey, 2017).

Esta situación resalta la necesidad de una mayor integración de tecnologías avanzadas en el sector de la construcción, no solo para mejorar la productividad sino también para impulsar la modernización y eficiencia del sector. La incorporación de tecnologías digitales y de IA podría ser clave para desbloquear el potencial de crecimiento y eficiencia en este campo crucial de la economía mundial.

Construction Technology is a rich and growing interconnected ecosystem of hardware and software solutions

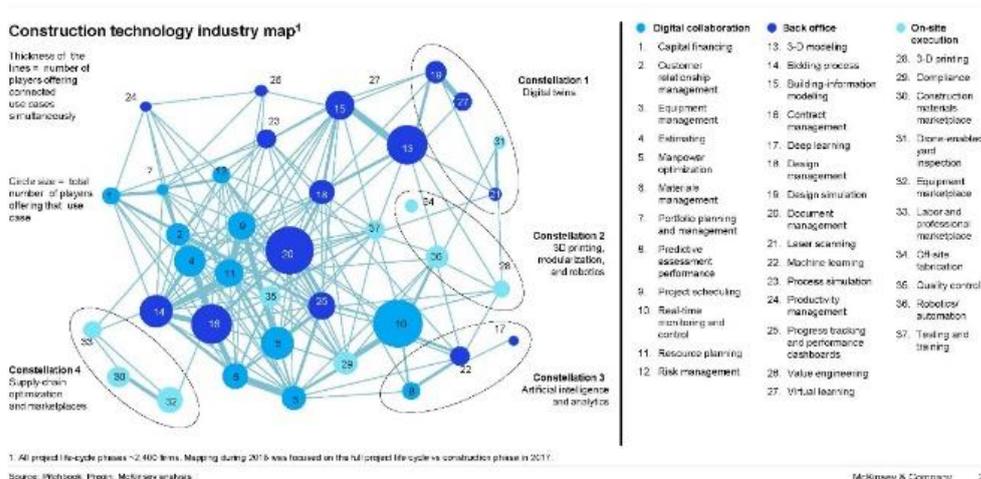


GRÁFICO 1 0 Mapa del sector de la tecnología de la construcción

Fuente: McKinsey

El análisis de McKinsey indica un considerable potencial de crecimiento económico atribuible a la IA, sugiriendo que el valor de la IA podría llegar a 15 billones de dólares. A pesar de esta



proyección, la adopción de IA en el mercado aún se encuentra en una fase temprana, con aproximadamente el 50-60% de las empresas implementándola, pero aún sin escalar su uso de manera significativa. La inversión privada en esta tecnología ha ido en aumento, alcanzando un récord de 93.500 millones de dólares en 2021, según McKinsey.

Paralelamente, la investigación de PwC predice que la IA generará un incremento de 15,7 billones de dólares en el crecimiento económico mundial para el año 2030. Además, los informes de investigación de mercado indican un crecimiento constante en el tamaño del mercado de big data, esperándose que alcance decenas de miles de millones de dólares en 2025.

La pandemia del Coronavirus ha impactado significativamente varias industrias, siendo uno de los efectos más notorios los despidos en diversos sectores. Durante la pandemia, el número de arquitectos experimentados no aumentó, y los despidos han llevado a que algunos de estos profesionales no regresen a la industria. Esto plantea un desafío inminente: una escasez de talento en el mercado en la próxima década. En este contexto, se prevé que la tecnología, particularmente la IA y el big data, desempeñe un papel crucial en llenar este vacío, posiblemente transformando la forma en que operan las industrias y abordando la brecha de talento a través de soluciones tecnológicas innovadoras.

1.1.3 Retos y necesidades de la gestión de la calidad

1.1.3.1 Retos de la gestión de la calidad

En el contexto de la gestión de calidad en la ingeniería civil contemporánea, múltiples factores influyen en su eficacia y rendimiento. Además, el progreso tecnológico, particularmente el desarrollo de la IA y el análisis de big data, presenta nuevos desafíos y oportunidades para optimizar esta gestión. Estas innovaciones tecnológicas ofrecen maneras más avanzadas y eficientes de abordar la calidad en la ingeniería civil.

–Influencia de los Factores Humanos: La incidencia de factores humanos es especialmente significativa en varios procesos de construcción, como el estudio y diseño, la producción y construcción, y la supervisión de la seguridad. Tanto las negligencias en la toma de decisiones de la dirección como los errores operativos de los trabajadores pueden ser fuentes potenciales de riesgo en proyectos de ingeniería. Muchos accidentes en la construcción aún se originan en fallos de gestión y errores operativos. Sin embargo, las tecnologías de IA, en particular el Machine Learning (ML) y el análisis predictivo, ofrecen la posibilidad de identificar y prevenir estos errores humanos, mejorando así la calidad de los proyectos de construcción.

–Impacto de Materiales y Tecnología: La selección de materiales de construcción de calidad y tecnologías apropiadas es crucial para el éxito del proyecto. Con la aplicación del análisis de big data en la investigación de ciencia de materiales y tecnología de construcción, es posible predecir

con mayor precisión el rendimiento de los materiales y la eficacia de los métodos constructivos. Además, se anticipa que el uso de IA para la optimización de la cadena de suministro asegurará aún más la calidad y eficiencia en el suministro de materiales. Aquellos que logren integrar estas ventajas tecnológicas estarán en una posición más ventajosa para competir en el futuro.

En resumen, la integración de IA y big data en la gestión de calidad en la ingeniería civil no solo mejora la eficiencia y precisión del proceso constructivo, sino que también contribuye a mitigar los riesgos asociados a factores humanos y materiales, fortaleciendo la competitividad en un mercado cada vez más tecnológicamente avanzado.

1.1.3.2 Demanda de gestión de la calidad

La gestión de calidad en la construcción de edificios es crucial, y su importancia se refleja en varios aspectos críticos, particularmente en la era actual donde la IA y el análisis de big data están revolucionando este campo:

-Longevidad y Valor Económico de los Edificios: Una construcción de alta calidad no solo prolonga la vida útil de un edificio, sino que también ahorra en costes de mantenimiento a largo plazo. Esto mejora la rentabilidad de la inversión en la construcción. Con la ayuda de la IA y el big data, se pueden predecir y abordar eficazmente los problemas de mantenimiento antes de que se conviertan en problemas costosos.

-Preocupación por la Seguridad: La seguridad es un aspecto fundamental de la gestión de calidad. Los edificios de alta calidad son esenciales para garantizar la seguridad de sus ocupantes. La IA y el big data pueden desempeñar un papel crucial en la supervisión de la integridad estructural de los edificios, proporcionando alertas tempranas sobre posibles problemas estructurales y contribuyendo así significativamente a la seguridad.

-Sostenibilidad y Protección del Medio Ambiente: En el contexto actual de creciente preocupación por el medio ambiente, la sostenibilidad de los edificios se ha convertido en un factor crucial. El uso de tecnologías como la IA y el big data puede optimizar la gestión energética de un edificio, asegurando su eficiencia y sostenibilidad. Además, estas tecnologías permiten una selección más inteligente de materiales y una mejor optimización de los recursos, lo que reduce el impacto medioambiental global del edificio.

1.1.4 Perspectivas de futuro

La construcción inteligente representa un cambio revolucionario en el campo de la ingeniería civil, fusionando tecnologías avanzadas de la información y de producción para transformar radicalmente el proceso constructivo. Esta nueva metodología se caracteriza por:

-Uso Intensivo de Medios Inteligentes y Tecnologías Relacionadas: La construcción inteligente aprovecha al máximo las tecnologías inteligentes para mejorar la eficiencia y efectividad del proceso constructivo. Esto incluye desde sistemas automatizados hasta aplicaciones de realidad aumentada y más.

-Mejora del Nivel de Inteligencia en el Proceso de Construcción: Mediante la implementación de sistemas inteligentes, la construcción inteligente minimiza la dependencia humana en el proceso constructivo, lo que resulta en una mayor precisión, eficiencia y reducción de errores.

-Rentabilidad y Fiabilidad Mejoradas: IA reducir la dependencia de la mano de obra y optimizar el uso de recursos, la construcción inteligente promete edificaciones más rentables y confiables.

-Integración de Big Data y Computación en la Nube: Los edificios inteligentes del futuro serán centros de aplicación de big data y computación en la nube, lo que implica una gestión más eficiente de la energía, seguridad mejorada y mayor comodidad para los usuarios.

El futuro de la ingeniería civil se ve marcado por un enfoque fuerte en la tecnología, con nuevas herramientas y métodos que influirán en cada aspecto de la construcción, desde el diseño inicial hasta la gestión y mantenimiento continuos. A pesar de los retos que presentan, como los costes iniciales elevados, la resistencia al cambio tecnológico y la escasez de talento especializado, las oportunidades y beneficios que ofrecen estas tecnologías son inmensos. Se espera que transformen el sector de la construcción hacia un futuro más eficiente, seguro y sostenible.

2. Objetivos del estudio

2.1 Objetivo general

La finalidad principal de esta investigación es examinar y sintetizar la literatura e información actuales para determinar cómo la IA y el análisis de grandes volúmenes de datos pueden integrarse en la gestión de calidad de proyectos de ingeniería. El propósito es mejorar tanto la eficiencia como la calidad en la ejecución de estos proyectos, identificando al mismo tiempo las tendencias más recientes y proyectando las direcciones futuras en este ámbito.

2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este estudio sobre la aplicación de la IA y el análisis de Big Data en la gestión de calidad de proyectos de ingeniería son los siguientes:

-Revisión Bibliográfica y Análisis de Métodos Actuales: Examinar la literatura y los materiales de investigación relevantes para analizar los métodos y prácticas actuales de gestión de calidad en proyectos de ingeniería, comprendiendo las limitaciones y las oportunidades de mejora de las

técnicas existentes.

-Evolución Histórica y Tendencias Actuales de la IA y el Big Data: Investigar la trayectoria histórica y las tendencias actuales de la IA y el análisis de Big Data en el contexto de la gestión de calidad en ingeniería, detallando cómo estas tecnologías han evolucionado e influenciado la gestión de proyectos, destacando su impacto y potencial para mejorar los procesos y resultados.

-Selección de Bibliografía de Alta Calidad: Identificar y seleccionar bibliografía y materiales de investigación de alta calidad para asegurar la confiabilidad y exhaustividad de la revisión.

-Análisis de Ejemplos de Implementación y Impactos: Examinar en detalle ejemplos específicos de implementación y los impactos de la IA y el análisis de Big Data en la gestión de calidad, evaluando cómo estas tecnologías se han aplicado en casos prácticos y su efecto tangible en la mejora de los procesos de gestión de calidad en proyectos de ingeniería.

-Síntesis de Ideas Clave y Dilemas No Resueltos: Sintetizar las ideas principales, conclusiones y dilemas aún no resueltos presentados en la literatura, enfocándose en su influencia en las prácticas actuales de gestión de calidad en proyectos de ingeniería y en cómo los hallazgos teóricos afectan las aplicaciones prácticas en el campo.

-Propuestas para Futuras Investigaciones: Elaborar propuestas para futuras investigaciones sobre cómo mejorar y perfeccionar el uso de la IA y el análisis de Big Data en la gestión de calidad, identificando áreas de innovación y desarrollo potenciales que puedan reforzar la aplicación de estas tecnologías para incrementar la eficiencia y efectividad en proyectos de ingeniería civil.

Estos objetivos proporcionarán una comprensión integral de la integración y el impacto de la IA y el análisis de Big Data en la gestión de calidad en proyectos de ingeniería civil, destacando tanto las oportunidades actuales como los desafíos y direcciones futuras.

3. Metodología de investigación

En este trabajo, se ha adoptado una metodología de revisión bibliográfica para identificar, examinar y categorizar investigaciones recientes relacionadas con el uso de la IA y el análisis de Big Data en la gestión de proyectos de ingeniería. El enfoque del análisis se centra en explorar la relación entre estas tecnologías avanzadas y la gestión de proyectos de ingeniería, así como en discutir los principales temas de investigación en este ámbito.

3.1 Búsqueda bibliográfica

- Fuente de datos: las principales bases de datos o plataformas de recuperación de literatura, como Web of Science, PubMed, CNKI, etc.

- Estrategia de búsqueda: la búsqueda principal se realizó en torno a "big data analysis",



"artificial intelligence", "engineering quality management", "big data analysis and artificial intelligence", "engineering quality management", "Análisis de Big Data e IA" "Análisis de Big Data y Gestión de la Calidad en Ingeniería" "IA y Gestión de la Calidad en Ingeniería" "IA y Análisis de Big Data Aplicados a la Gestión de la Calidad en Ingeniería" "IA y Análisis de Big Data Aplicados a la Gestión de la Calidad en Ingeniería". Análisis de Datos Aplicados a la Gestión de la Calidad en Ingeniería"

3.2 Criterios de selección de la bibliografía

Para la selección de literatura e información en este estudio, se han empleado los siguientes criterios:

- Criterios de Inclusión:

- Artículos cuyo enfoque principal sea la aplicación de la IA y el análisis de Big Data en la gestión de la calidad en ingeniería civil.
- Publicaciones realizadas en la última década.
- Trabajos de investigación o tesis completas.
- Disponibilidad del texto completo del artículo.

- Criterios de Exclusión:

- Estudios que sean duplicados o cuya literatura haya sido ya citada en otras fuentes.
- Literatura no relevante para el tema principal o que solo proporcione una revisión breve y superficial.
- Bibliografía de la cual sólo se disponga de resúmenes y no del texto completo.

3.3 Extracción de datos

Durante el proceso de extracción de datos para este estudio, se recopiló la siguiente información clave de cada pieza bibliográfica seleccionada:

3.3.1 Categorías de información.

-Autor(es): Se registraron los nombres de los autores de cada publicación para identificar a los principales investigadores y colaboradores en el campo de la IA y el análisis de Big Data aplicados a la gestión de calidad en ingeniería civil.

-Fecha de Publicación: Se anotó la fecha de publicación de cada documento para ayudar a analizar las tendencias tecnológicas y la evolución de la investigación a lo largo del tiempo.

-Metodología de Investigación: Se identificó y documentó la metodología empleada en cada

estudio, ya sea un enfoque de estudio de caso, diseño experimental, análisis teórico, entre otros.

-Conclusiones Principales: Se extrajeron y resumieron las conclusiones y hallazgos más significativos de cada publicación para construir una base para el análisis y síntesis del estudio.

3.3.2 Gestión de datos.

Para la gestión eficiente de los datos recopilados, se utilizó una hoja de cálculo (como Microsoft Excel) para registrar sistemáticamente información como nombres de autores, fechas de publicación, métodos de investigación y las principales conclusiones de cada fuente.

Esta herramienta de gestión de datos ayudó a mantener la información organizada y accesible, facilitando así el análisis y la comparación de datos en la etapa posterior del estudio.

3.4 Métodos de análisis

Para el análisis de la literatura relacionada con la aplicación de la IA y el análisis de Big Data en la gestión de calidad de proyectos de ingeniería, se emplearon los siguientes métodos:

3.4.1 Análisis cualitativo.

- La bibliografía se clasificó por temas y enfoques, por ejemplo, aplicación de la tecnología de IA a la ingeniería civil, métodos de análisis de macrodatos, etc.

- La extracción de temas y el análisis de contenido implicaron una exploración en profundidad de conceptos importantes, puntos de debate y argumentos de la bibliografía con el fin de construir un marco teórico e hipótesis de investigación.

- La atención se centra en el análisis de estudios de casos y estudios empíricos en la literatura para comprender la aplicación y la eficacia de los diferentes métodos.

3.4.2 Análisis cuantitativo.

En el análisis, se aplicaron técnicas estadísticas como el análisis de tendencias y la regresión para interpretar los datos. Este enfoque se fundamentó en la amplitud y calidad de la información obtenida de las fuentes bibliográficas, con el objetivo de examinar las interacciones y el impacto entre diversas variables. Este proceso incluyó la integración y comparación de datos para una evaluación más profunda.

4. Revisión bibliográfica

4.1 Desarrollo histórico de la literatura

Según la siguiente búsqueda bibliográfica de Web of Science, con la palabra clave "gestión de la calidad en ingeniería civil", podemos ver la historia de la gestión de la calidad, desde 1900 hasta 2010 tan largo espacio de tiempo hay estudios al respecto, según estos documentos se resume el desarrollo bibliográfico sobre la gestión de la calidad en ingeniería civil.

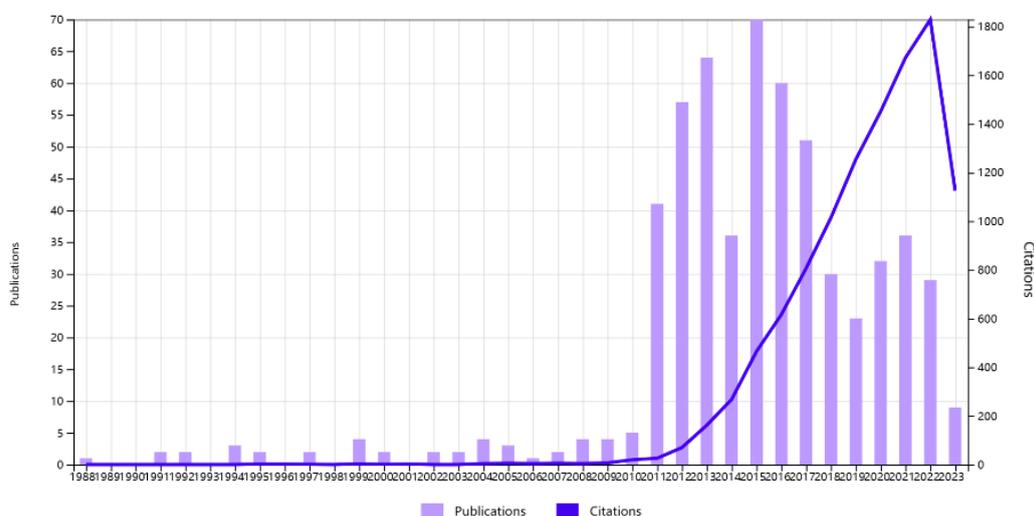


GRÁFICO 2.4.1 Historia del desarrollo de la bibliografía pertinente sobre gestión de la calidad

Fuente: Elaboración propia

4.1.1 Primeras etapas de la investigación

La etapa inicial del desarrollo de la gestión de calidad en ingeniería civil se remonta a los orígenes de la disciplina de gestión de ingeniería. En su forma moderna, el desarrollo de la gestión de calidad en ingeniería civil está intrínsecamente ligado a la evolución del campo completo de gestión de ingeniería. Durante esta fase inicial, el objetivo principal de la gestión de calidad en ingeniería civil era asegurar que la calidad de la construcción cumpliera con los requerimientos del diseño y las especificaciones. Los métodos tradicionales más comunes incluían: el uso de inspección visual, mantenimiento de registros en papel de documentos relevantes como planos de diseño, órdenes de cambio, informes de pruebas, entre otros, y la utilización de pruebas e instrumentos convencionales, como telémetros y niveles, que son herramientas básicas de medición e inspección en la ingeniería civil. La toma de decisiones a menudo se basaba en la experiencia de ingenieros superiores o directores de proyecto acumulada a lo largo de los años, y la evaluación de riesgos dependía mayormente del juicio y la experiencia de expertos. Además, el intercambio de información, la identificación de problemas y la determinación de soluciones dependían en gran medida de reuniones periódicas para lograr unidad y colaboración.

4.1.2 Apogeo de la investigación

El auge de la gestión de calidad en ingeniería civil, marcado por la intervención de la IA y el análisis de big data, tuvo lugar en las segundas y terceras décadas del siglo XXI, entre 2010 y 2020. Durante este tiempo, las nuevas tecnologías experimentaron un rápido desarrollo y una aplicación generalizada, alcanzando la atención y actividad máximas en el sector. Este periodo coincidió con una aceleración en el proceso de urbanización y un crecimiento económico paralelo, impulsando a su vez el desarrollo de la ingeniería civil.

La introducción de políticas y normativas, como las de la ISO, que establecen estándares estrictos y uniformes, condujo a la estandarización gradual de los procesos y requisitos de construcción de proyectos. Además, con el avance de la tecnología informática, la computación en la nube y la tecnología de Internet de las Cosas (IoT), se observó una creciente incorporación de nuevas tecnologías y avances en investigación y desarrollo. La digitalización y la tecnología de la información se popularizaron, facilitando una gestión más efectiva de la calidad en ingeniería.

La implementación de estas técnicas y tecnologías emergentes, junto con la aparición de casos de éxito, proporcionó a la industria una comprensión más profunda del valor que estas nuevas tecnologías aportan a la gestión de la calidad. Esto llevó a más empresas e investigadores a invertir recursos no solo para promover el desarrollo de estas tecnologías de la información, sino también para fomentar el progreso en la gestión de calidad en ingeniería civil.

4.1.3 Puntos de inflexión e hitos importantes

Los momentos cruciales en la gestión de la calidad en la ingeniería civil no solo están marcados por avances tecnológicos, sino también por la ocurrencia de grandes desastres de ingeniería. Estos incidentes, donde errores de ingeniería han causado la muerte de innumerables personas a lo largo de los últimos 400 años, han sido un punto de aprendizaje significativo, aunque los fallos continúan sucediendo. La industria de la construcción civil es considerada una de las más riesgosas en términos de salud y seguridad laboral, con altas tasas de accidentes y mortalidad (Gunduz y Ahsan, 2018; Jo et al. 2017; OSHA, 2017; Shi et al. 2019).

Los grandes accidentes de ingeniería no solo resultan en pérdidas económicas y humanas, sino que también subrayan la importancia crítica de una gestión de calidad eficiente en proyectos de ingeniería civil. Estas dolorosas lecciones han incrementado la atención hacia la calidad del proyecto. El desafío de mejorar la calidad del proyecto se ha transformado en un nuevo objetivo de desarrollo para la industria. La adopción de nuevas tecnologías permite un enfoque más detallado y sistemático en la supervisión de todos los aspectos de un proyecto, lo que puede contribuir significativamente a la reducción de los riesgos y a la mejora de la seguridad en la construcción civil.

4.2 Definición de la gestión de la calidad de los proyectos de ingeniería civil

La gestión de calidad en proyectos de ingeniería es un proceso que asegura y mejora la calidad del proyecto mediante un conjunto sistemático de sistemas, medios y métodos de gestión. En la construcción de proyectos de ingeniería, donde las inversiones son considerables y el periodo de construcción y uso es prolongado, adherirse a las normas de calidad es esencial para poner en marcha y entregar el proyecto, garantizando así los beneficios esperados de la inversión.

La gestión de calidad combina conocimientos de profesionales y técnicos, gestión empresarial, y métodos matemáticos y estadísticos para satisfacer las necesidades de la sociedad. A nivel mundial, muchos países han establecido métodos estrictos de supervisión e inspección para cumplir con los requisitos de calidad en ingeniería. Un proyecto es un producto propuesto de construcción, y las características de calidad en la ingeniería incluyen aspectos como la longevidad, fiabilidad, seguridad, funcionalidad y adaptabilidad al entorno.

Estas características son fundamentales para asegurar que los proyectos de ingeniería no solo cumplan con los requisitos técnicos y funcionales, sino que también sean seguros y confiables durante su ciclo de vida, y que se adapten de manera sostenible y responsable al medio ambiente.

Productos adecuados Planificación de la gestión de la calidad

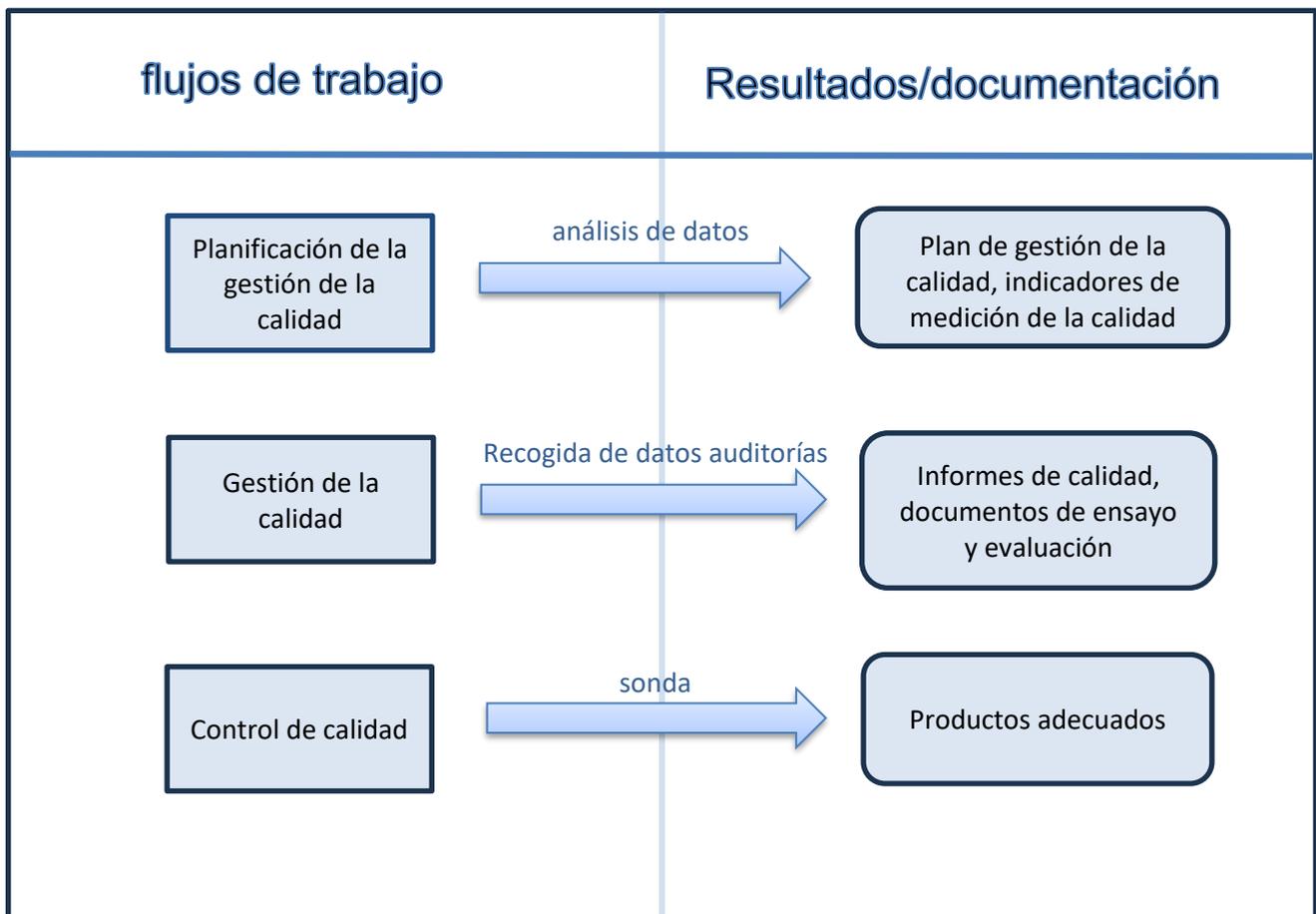


GRÁFICO 3 4.2 Diagrama de flujo de trabajo de la gestión de la calidad en ingeniería

Fuente: Elaboración propia

4.3 Importancia y objetivos de la gestión de la calidad en los proyectos de ingeniería civil

4.3.1 Importancia de la gestión de la calidad en la ingeniería civil

La gestión de calidad en proyectos de ingeniería civil presenta desafíos únicos que difieren significativamente de la producción de productos en un entorno de fabricación empresarial. Algunas de las diferencias clave y los desafíos asociados con la gestión de calidad en la ingeniería civil incluyen:

– No Repetitividad y Complejidad: A diferencia de la fabricación de productos, cada proyecto de ingeniería civil es único. La no repetitividad y complejidad de estos proyectos requieren enfoques adaptativos y soluciones a medida para cada sitio y proyecto.

– Entorno de Construcción Variable: Los proyectos de ingeniería civil a menudo se llevan a cabo al aire libre y están sujetos a variaciones geográficas y condiciones meteorológicas. Estos factores pueden influir significativamente en el progreso del proyecto y en la calidad del trabajo.

– Duración del Proyecto y Factores Temporales: Los proyectos de ingeniería civil suelen tener largos periodos de construcción que pueden verse afectados por numerosos factores externos, lo que complica aún más la gestión de calidad.

– Interacción y Secuencia de Trabajos: En la ingeniería civil, diversos tipos de trabajos pueden intersectarse o superponerse, lo que requiere una coordinación y planificación cuidadosas para asegurar la calidad y eficiencia.

– Inspecciones y Reparaciones Post-construcción: Una vez finalizado un proyecto, no es posible desmontarlo para inspeccionar o reemplazar componentes como en un producto de fabricación. Las inspecciones deben ser exhaustivas y cualquier reparación o ajuste debe realizarse con cuidado para no afectar la integridad estructural.

– Control de Calidad Riguroso: Debido a la naturaleza no repetible y al entorno desafiante de los proyectos de ingeniería civil, el control de calidad, la supervisión y la gestión son esenciales. Es necesario un enfoque proactivo y preventivo para la gestión de calidad.

– Importancia del Pensamiento Holístico: La gestión de calidad en ingeniería civil requiere un enfoque holístico que considere el avance del proyecto, la inversión de fondos y los impactos a largo plazo de las decisiones de calidad.

– Enfoque en la Calidad a lo Largo del Proyecto: La calidad no es solo una consideración final, sino un objetivo constante a lo largo de todas las etapas del proyecto, desde la planificación hasta la construcción y finalización.



Por tanto, la gestión de calidad en la ingeniería civil demanda una combinación de conocimientos técnicos, habilidades de gestión, adaptabilidad y una comprensión profunda de las variables del proyecto para asegurar la entrega exitosa y de calidad de las obras de infraestructura.

4.3.2 Objetivos de la gestión de la calidad en ingeniería civil

Cumplir con los requisitos del diseño y las especificaciones vigentes, así como satisfacer las normas de calidad establecidas en los documentos de licitación, es fundamental. Además, se debe cumplir a cabalidad con los compromisos establecidos en el contrato de construcción, garantizando que la calidad del proyecto alcance un nivel excelente. Esto incluye la evaluación de la calidad desde la observación y percepción, que también debe ser de nivel superior. Es crucial prevenir la aparición de defectos o problemas a través de procesos eficaces de gestión y control de calidad. Además, se debe garantizar que todas las actividades de ingeniería se realicen en un entorno seguro para evitar accidentes laborales. Es importante lograr una mejora continua en la gestión de la calidad, lo que se consigue mediante la recopilación continua de información, el análisis de datos y la corrección de procesos. Reducir el coste global de los proyectos de ingeniería es otro objetivo clave, y esto se logra previniendo defectos, reduciendo repeticiones y mejorando la eficacia del trabajo. Mejorar la concienciación sobre la calidad y las capacidades de ejecución de los equipos y proveedores es esencial, y se puede alcanzar mediante la formación, la evaluación y la retroalimentación. Finalmente, se busca entregar de manera sistemática proyectos de ingeniería de alta calidad para ganar la confianza del cliente y construir una imagen pública favorable.

4.3.3 El propósito de la gestión de la calidad en ingeniería civil

En la ingeniería civil, la gestión de calidad es crucial, supervisando y asegurando la calidad de los proyectos desde su diseño hasta las etapas de construcción y mantenimiento. Este proceso integral abarca todo el ciclo de vida del proyecto para cumplir con las normas, especificaciones establecidas y satisfacer las necesidades de clientes y partes interesadas. La gestión de calidad se manifiesta en diversas áreas clave en cada etapa del proyecto:

- Planificación de la Calidad: Establece normas y metas de calidad en las etapas iniciales de diseño y proyecto, creando métodos y procedimientos detallados para alcanzar estas normas y objetivos de manera rigurosa.

- Control de Calidad: Implica el seguimiento y la medición de los resultados de calidad del proyecto, incluyendo la inspección de materiales y la revisión de métodos y procesos de construcción para asegurar el cumplimiento de las normas y especificaciones.

- Aseguramiento de la Calidad: Proceso continuo de revisión y evaluación de la gestión de calidad en todas las etapas del proyecto, confirmado la eficacia de las prácticas de gestión para



cumplir con las normas establecidas y los requisitos de los clientes.

- Mejora de la Calidad: Se enfoca en utilizar información y datos de control y aseguramiento de calidad para identificar oportunidades de mejora, implementando cambios para elevar la calidad y aumentar el rendimiento del proyecto.

- Documentación de la Calidad: Proceso esencial para mantener organizada la gestión de calidad, registrando meticulosamente normas, objetivos y progresos para facilitar su acceso y verificación por el equipo del proyecto y las partes interesadas.

- Auditorías y Evaluaciones de Calidad: Actividades clave para evaluar periódicamente la eficacia del sistema de gestión de calidad en cada fase del proyecto, proporcionando una visión global de los resultados de calidad.

- Gestión de Riesgos y Controles de Conformidad: Incluye la identificación y gestión de riesgos que pueden afectar la calidad del proyecto y asegura la alineación con los requisitos reglamentarios y normativos, manteniendo la integridad y calidad a lo largo del desarrollo del proyecto.

5. aplicación de la IA a la gestión de la calidad.

5.1 Clasificación de la literatura

5.1.1 Propósito.

El objetivo principal de esta sección es brindar una visión panorámica y exhaustiva de las investigaciones contemporáneas sobre la aplicación de la IA en la gestión de calidad dentro del ámbito de la ingeniería civil. Se presenta una clasificación preliminar de la literatura relevante, destacando la diversidad en las metodologías de investigación, los ámbitos de aplicación y los hallazgos fundamentales. Esta perspectiva abarca un análisis detallado, ofreciendo una comprensión profunda de cómo la IA está redefiniendo la gestión de calidad en este sector crítico.

5.1.2 Métodos y campos

Con el avance acelerado de la tecnología de IA, su aplicación en la gestión de calidad en la ingeniería civil se ha establecido como un área de investigación emergente y de gran interés, como señala Shen Xiang (2020, pág.1). En esta sección, nos proponemos explorar cómo la literatura actual aborda las variadas aplicaciones de la IA en la gestión de calidad, examinaremos su uso en diferentes etapas y áreas de la ingeniería civil, y resumiremos los hallazgos y conclusiones claves identificados por los investigadores. Este análisis nos permitirá sentar las bases para una comprensión profunda de cómo la IA podría transformar los procesos tradicionales de gestión de calidad y orientará hacia futuras direcciones y potencialidades investigativas.

- IA en ingeniería civil

La Industria 4.0 marca el inicio de una nueva era en la revolución industrial, caracterizada por una enfática convergencia entre la fabricación inteligente y las tecnologías de automatización. Dentro de este marco, la aplicación de la IA en la gestión de calidad adquiere una relevancia particular. La integración de la IA es crucial no solo para alcanzar los objetivos de la Industria 4.0, sino que también representa una innovación significativa en la gestión de calidad de proyectos de ingeniería civil. La figura siguiente ilustra cómo, desde el surgimiento de la Industria 4.0, la investigación sobre la IA en el ámbito de la ingeniería civil ha experimentado un incremento progresivo, reflejando la evolución de la era.

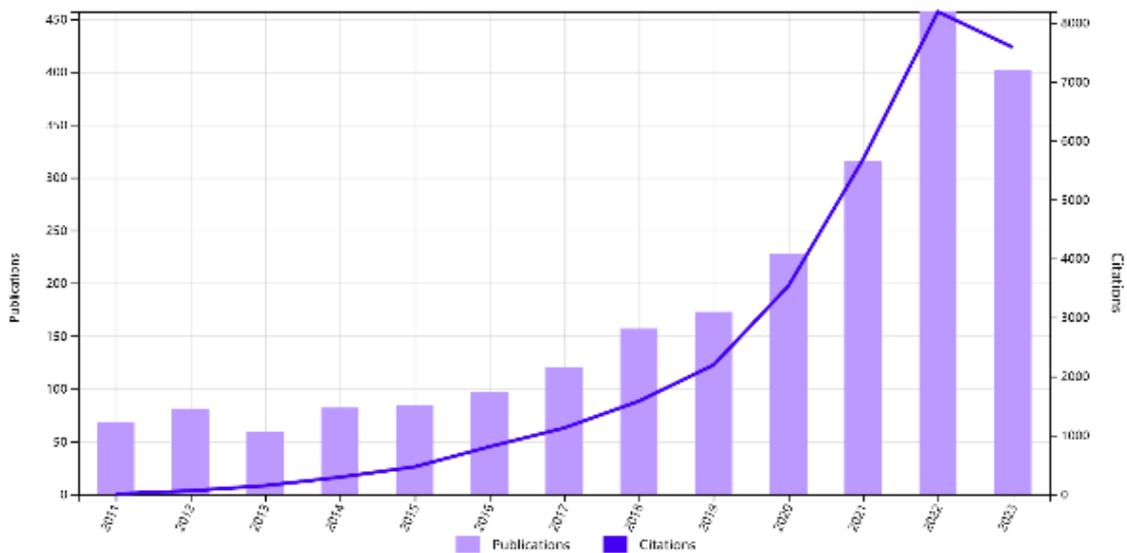


GRÁFICO 4 5.1.2 Historia del desarrollo de la literatura sobre IA en Ingeniería Civil

Fuente: Elaboración propia

La IA está evolucionando a un ritmo sorprendente, aunque su aplicación ha sido predominantemente en los campos de la informática y la bioquímica, con una presencia relativamente menor en la ingeniería. Para ilustrar este punto, se presentan datos sobre el número y el porcentaje de investigaciones de IA en las nueve industrias principales que la utilizan, junto con el porcentaje correspondiente en la ingeniería civil. La notable disparidad en estos porcentajes evidencia la creciente demanda de IA en la industria de la ingeniería civil y las amplias posibilidades para su desarrollo futuro."

Field: Web of Science Categories	Record Count	%
Computer Science Artificial Intelligence	56,834	9.395%
Engineering Electrical Electronic	39,909	6.597%
Immunology	36,921	6.103%



Biochemistry Molecular Biology	27,357	4.522%
Materials Science Multidisciplinary	25,584	4.229%
Computer Science Theory Methods	24,613	4.068%
Computer Science Information Systems	21,962	3.630%
Chemistry Multidisciplinary	20,990	3.470%
Computer Science Interdisciplinary Applications	20,921	3.458%
Engineering Civil	2,960	0.489%

TABLA 1 5.1.2 Porcentaje de IA en cada campo

Fuente: webofscience

En este estudio, hemos analizado en profundidad veinte artículos relevantes para extraer sus metodologías de investigación, áreas de aplicación y conclusiones principales. Este análisis detallado nos permite identificar los métodos específicos en los que la IA se aplica en la gestión de calidad en ingeniería civil. De esta manera, buscamos presentar de manera más intuitiva ejemplos concretos de la integración de la IA en la gestión de calidad, estableciendo así una base sólida para futuras investigaciones en este campo.



	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
1	The role of artificial intelligence and digital technologies in dam engineering: Narrative review and outlook	<u>M. Amin Hariri-Ardebili</u> a b	Engineering Applications of Artificial Intelligence	<p>REVISIÓN NARRATIVA: El documento es una revisión narrativa que explora la aplicación de la IA en la ingeniería de presas, escrita por ingenieros civiles y científicos de datos y revisada por ingenieros de presas y expertos en IA.</p> <p>ENFOQUE ESTRUCTURADO: El documento se divide en tres secciones que abarcan los antecedentes de la IA, sus aplicaciones específicas en la ingeniería de presas y las tecnologías actuales y emergentes.</p>	<p>Este artículo analiza el papel de la IA en diversos aspectos de la ingeniería de presas, como la supervisión de la seguridad, los sistemas de alerta temprana, la modelización predictiva, la supervisión en tiempo real, la optimización, la planificación y el diseño.</p> <p>Aplicaciones específicas de la IA: profundiza en la modelización predictiva, la supervisión en tiempo real, la optimización, la planificación y el diseño de la IA en el contexto de las presas y los diques, incluido el uso de técnicas de ML y drones con IA para inspeccionar eficazmente las presas.</p>	Integración de la IA en la ingeniería de presas: la IA tiene un gran potencial para mejorar la evaluación de riesgos, la toma de decisiones y la eficiencia en la ingeniería de presas mediante algoritmos de ML y técnicas de optimización.	ML: el artículo destaca el papel de los algoritmos de ML en la creación de modelos predictivos más precisos.
			Volume 126, Part A, November 2023, 106813			Retos y oportunidades: este documento analiza los retos que plantea la plena integración de la IA en las prácticas de ingeniería de presas, como la necesidad de una gestión sólida de los datos, la transparencia algorítmica y las consideraciones éticas.	Algoritmos de optimización: los algoritmos de optimización se utilizan para encontrar el diseño óptimo que incorpore todas las fuentes de incertidumbre.
						FUTURAS DIRECCIONES DE INVESTIGACIÓN: este documento propone futuras direcciones de investigación que hagan hincapié en la mejora continua de los métodos de IA y su aplicación en el campo de la ingeniería de presas.	Algoritmos de toma de decisiones: se utilizan para dar con soluciones más precisas y eficientes que una única decisión humana.
2	Review of artificial intelligence applications in engineering design perspective	Nurullah Yüksel a , Hüseyin Rıza Börklü aHüseyin Kürşad Sezer a c Olcay Ersel Canyurt b c	Engineering Applications of Artificial Intelligence Volume 118, February 2023, 105697	Reseña: El artículo es una panorámica de la aplicación de la IA a conceptos de diseño/ingeniería en los últimos 15 años.	Ingeniería: El artículo explora la aplicación de la IA en el campo del diseño de ingeniería, con especial atención a las distintas fases del diseño: inspiración, generación de conceptos, evaluación, optimización, toma de decisiones y modelización.	Impacto de la IA en el diseño técnico: el artículo destaca el papel de la IA a la hora de estimular la creatividad, generar nuevos conceptos y evaluar soluciones de diseño.	Sistemas expertos, lógica difusa, redes neuronales artificiales (ANN) y GA: estos han sido durante mucho tiempo los métodos tradicionales más utilizados en la evaluación y optimización del diseño.



Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
		Engineering Applications of Artificial Intelligence			Importancia de la selección del método de IA: se señala que seleccionar la metodología de IA adecuada para un determinado problema de diseño es fundamental para lograr un resultado satisfactorio.	ML y aprendizaje profundo: estos métodos modernos basados en datos han visto aumentar su uso en el proceso de diseño en los últimos años.
		Volume 118, February 2023, 105697				Métodos híbridos de IA: en algunas aplicaciones de diseño, también se utilizan simultáneamente métodos como las redes neuronales, la lógica difusa y la inteligencia de grupo.
3	Robert W. Blake a, , Robins Mathew aA braham George a Nikolaos Papakostas a	Procedia CIRP	REVISIÓN DE LA LITERATURA Y ENCUESTA: El artículo explora el uso de la IA en la ingeniería, su impacto en la profesión de ingeniero y su efecto en la productividad de los ingenieros a través de una revisión bibliográfica de los avances recientes en computación en nube y tecnología de software, y de una encuesta realizada en facultades de ingeniería irlandesas.	Ingeniería: el artículo explora el uso de la IA en varios campos de la ingeniería, como la ingeniería mecánica y el mantenimiento predictivo, y el impacto de la IA en el desarrollo futuro de estos campos.	Impacto de la IA en las perspectivas de los ingenieros: La adopción de la IA cambiará las perspectivas profesionales de los ingenieros. La encuesta muestra que alrededor del 27% del personal académico ya utiliza tecnología de IA y predice que la introducción de la IA aumentará la productividad.	Clasificación de la IA: La IA se ha clasificado en analítica, de inspiración humana y humana en función del tipo de inteligencia que presenta. Entre ellas, la inteligencia cognitiva está relacionada con el reconocimiento de patrones (PR) y el pensamiento sistemático, la inteligencia afectiva está relacionada con la adaptabilidad, la autoconfianza, la autoconciencia emocional y la orientación al logro, y la inteligencia social está relacionada con la empatía, el trabajo en equipo y el liderazgo inspirador.
		Volume 104, 2021, Pages 1728-1733			Surgimiento de nuevas disciplinas y especializaciones: Junto con el avance de la IA, surgirán nuevas disciplinas y especializaciones en el campo de la ingeniería. Se espera que la aparición de la IA General acelere el proceso de búsqueda de posibles soluciones a los problemas de ingeniería, y que los ingenieros dediquen menos tiempo a tareas rutinarias y más a tareas basadas en el conocimiento.	Métodos de IA: Incluye el aprendizaje profundo, el aprendizaje supervisado y no supervisado, el aprendizaje por refuerzo, los sistemas expertos, el procesamiento del lenguaje natural (PLN) y los métodos de análisis lingüístico. Estos métodos se pueden utilizar en plataformas de desarrollo de software de IA como Microsoft Azure, TensorFlow, IBM Watson, Infosys Nia y otras.
						IA en aplicaciones de ingeniería: En ingeniería mecánica, la IA se utiliza en varias áreas, como la mecánica de fracturas, el mantenimiento predictivo, etc. Los algorithms de IA utilizacions include K-Nearest Neighbors, Support Vector Machines, Deep Learning, Bayesian Networks, ANN y Case-Based Reasoning.

	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
4	Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends	Yue Pan, Limao Zhang	Automation in Construction	MEDICIÓN CIENTÍFICA Y ANÁLISIS CUALITATIVO: El estudio utilizó el análisis de medición científica y la revisión cualitativa. Se analizaron 1997.2020 artículos de revistas publicados entre 4 y 473 años para explorar las características de las palabras clave, las revistas y las agrupaciones en este campo.	Ingeniería y gestión de la construcción (CEM): se centra en la integración de la IA en todos los aspectos de la CEM, incluida la ingeniería de edificios y la gestión de la construcción. Aborda todo el ciclo de vida del proyecto, utilizando la IA para mejorar la planificación, la ejecución y las operaciones y el mantenimiento.	Papel de la IA en la CGE: Destaca el potencial de la IA para mejorar la gestión de proyectos de construcción, la evaluación de riesgos, aumentar la eficiencia operativa y facilitar la digitalización.	ML: utilizado para procesar y analizar datos en la gestión de la ingeniería de la construcción con fines de automatización, mitigación de riesgos y
			Volume 122, February 2021, 103517	REVISIÓN SISTEMÁTICA: Este artículo presenta una revisión sistemática para comprender el estado actual de la IA en CEM y discutir las tendencias futuras de la investigación.	Transformación digital en la construcción: se centra en el avance de las soluciones digitales para los proyectos de construcción, como el modelado de BIM, el IoT y los gemelos digitales.	FUTURAS DIRECCIONES DE INVESTIGACIÓN: Se presentan futuras direcciones de investigación, como la robótica inteligente, la RV/AR en la nube, la IAoT, los gemelos digitales, la impresión 4D y las tecnologías blockchain para integrar aún más la automatización y la inteligencia en la CEM.	GA: uso potencial de GA en la optimización de diversos aspectos de los proyectos de construcción, como la planificación, la asignación de recursos y la evaluación de riesgos.
							Lógica difusa: puede utilizarse para procesar CE.
							Aprendizaje profundo: aplicaciones en análisis de datos complejos y PR, por ejemplo, en BIM, gemelos digitales y otras tecnologías avanzadas.
							Representación y razonamiento del conocimiento, fusión de información, visión por ordenador, procesamiento del PLN, optimización inteligente y minería de procesos: estas técnicas se mencionan y exploran en el tratamiento de problemas complejos y procesos de toma de decisiones basados en datos en CEM.
5	Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications	Shanaka Kristombu Baduge a, , , , , Sadeep Thilakarathna aJude Shalitha Perera a Mehrdad Arashpour bPejman Sharafi cBertrand Teodosio dAnkit Shringi bPriyan Mendis a	Automation in Construction	REVISIÓN Y ESTUDIO DE LA LITERATURA: El artículo emplea un enfoque de revisión de la literatura que combina un gran número de artículos de revistas, documentos de conferencias y libros para explorar el papel de la IA, el ML y el Aprendizaje Profundo (DL) en la edificación y la construcción.	Industria de la edificación y la construcción 4.0: incluyendo diseño y visualización de edificios, diseño y optimización de materiales, diseño y análisis estructural, fabricación y automatización en alta mar, supervisión del progreso y seguridad de la gestión de la construcción, gestión de operaciones de edificios inteligentes y supervisión de la salud, así como análisis del ciclo de vida de la durabilidad y economía circular.	Aplicaciones de IA, ML y DL: El artículo demuestra la amplia gama de aplicaciones de IA, ML y DL en la industria de la construcción 4.0 y destaca el potencial de estas tecnologías para mejorar la eficiencia, la productividad, la precisión y la seguridad en la industria de la construcción.	ML y aprendizaje profundo: El artículo explora una variedad de algoritmos de ML y aprendizaje profundo, incluidas las redes neuronales convolucionales (CNN), las redes generativas adversariales, los autocodificadores variacionales y las redes neuronales recurrentes, así como la aplicación de estas técnicas en el sector de la edificación y la construcción.



	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
			Volume 141, September 2022, 104440				ADQUISICIÓN DE DATOS Y TECNOLOGÍAS DE SENSORES: Se tratan las tecnologías de visión inteligente y de sensores para la adquisición de datos, así como los métodos de limpieza de datos (post-procesado) y las estrategias de almacenamiento de datos.
6	Emerging artificial intelligence methods in structural engineering	Hadi Salehi a, Rigoberto Burgueño a b	Engineering Structures	Análisis de contenido: El artículo emplea la metodología del análisis de contenido para seleccionar y analizar la bibliografía pertinente. Este método suele emplearse para hacer inferencias válidas de forma objetiva a partir de los datos recopilados para revelar aspectos centrales de investigaciones anteriores.	Ingeniería estructural: Esta revisión bibliográfica se centra en la aplicación del RP en la ingeniería estructural, incluyendo la monitorización de la salud estructural (SHM) detección de daños, ingeniería sísmica y diseño sísmico, fiabilidad estructural, identificación estructural y evaluación del rendimiento. Principales conclusiones. IA en Ingeniería Estructural: El artículo proporciona una visión general de la aplicación de la IA en la ingeniería estructural, en particular los métodos emergentes como el ML, el PR y el DL.	Aplicaciones de la IA en la ingeniería estructural: El artículo ofrece una visión general de las aplicaciones de la IA en la ingeniería estructural, en particular los métodos emergentes como el ML, el PR y el DL.	RP: El principal objetivo de las técnicas de RP es clasificar objetos en varias categorías o clases. Los objetos pueden ser imágenes, señales, escritura manuscrita, voz o datos de medición.
			Volume 171, 15 September 2018, Pages 170-189				ML: el ML es un importante subcampo de la IA que se ocupa de la investigación, el diseño y el desarrollo de algoritmos que aprenden de los propios datos y utilizan los datos aprendidos para hacer predicciones.
							DL: el DL es una rama del ML que consiste en redes capaces de aprender sin supervisión a partir de datos no estructurados/no etiquetados.

	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
7	Adopting Artificial Intelligence for enhancing the implementation of systemic circularity in the construction industry: A critical review	Benjamin I. Otuleye a., Daniel W.M. Chan aPrince Antwi-Afari	Sustainable Production and Consumption	Revisión sistemática de la literatura: El artículo adoptó una metodología de revisión sistemática de la literatura, siguiendo estrictamente el protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis) para mejorar la calidad científica de la recogida de datos, la selección y la discusión de los resultados.	Ciclo de sistemas en la industria de la construcción: El artículo analiza la aplicación de la IA al ciclo de sistemas en la industria de la construcción, incluido el diseño de prevención de residuos, desmantelamiento y optimización, selección de materiales reciclados, tecnología de materiales y predicción de circularidad económica, predicción de materiales peligrosos, operaciones de modelo de negocio circular, reciclaje de residuos in situ, estimación de la generación de residuos de construcción y demolición de edificios, auditorías previas a la demolición en una economía circular, predicción de la resistencia de los áridos tras su utilización y reciclaje, y composición clasificada y desglose de los residuos de construcción y demolición de edificios.	Desafíos y posibles soluciones para la IA en el ciclo de sistemas en la industria de la construcción: el artículo explora los desafíos de la IA en la implementación del ciclo de sistemas en el ciclo de vida de la construcción y sus posibles soluciones. Entre estos retos se incluyen los desafíos relacionados con los datos, la naturaleza de caja negra de la IA y las cuestiones culturales, el lento cambio de los enfoques tradicionales al aprendizaje profundo, las ineficiencias en la gestión del ciclo de vida en el sector de la construcción, la limitada investigación sobre IA en la implementación de ciclos de sistemas y las limitaciones de la infraestructura digital.	Algoritmos de IA: Los sistemas de IA analizados en el artículo incluyen las redes neuronales profundas (DNN), los procesos gaussianos, los bosques aleatorios, las ANN, las máquinas de vectores de apoyo (SVM), los árboles de decisión, el refuerzo gradiente (GB) y las CNN. Entre estos modelos, CNN es el más utilizado en la categoría de aprendizaje profundo, mientras que ANN, SVM, DT y GB se utilizan ampliamente en el modelo tradicional. Otros algoritmos y modelos que se han utilizado con menos frecuencia en la investigación son las redes neuronales recurrentes, los modelos grises, la regresión lineal, la regresión logística y K-Nearest Neighbour.
			Volume 35, January 2023, Pages 509-524				
8	Prediction of compressive strength in plain and blended cement concretes using a hybrid artificial intelligence model	Hamdi A. Al-Jamimi a., , Waid A. Al-Kutti bSaleh Alwahishi cKhalid Saqer Alotaibi b	Case Studies in Construction Materials	Propósito: El objetivo principal de este estudio es predecir la resistencia a la compresión del hormigón utilizando un modelo híbrido de IA que combina SVM y Genetic Algorithm.	Campos de aplicación: este estudio es directamente aplicable al campo de la ingeniería civil, especialmente en el ámbito de la construcción, donde la predicción de la resistencia a la compresión del hormigón es esencial para el control y aseguramiento de la calidad de los materiales de construcción.	PRECISIÓN DEL MODELO: El modelo SVM-GA mostró una gran precisión en la predicción de la resistencia a la compresión del hormigón, con un coeficiente de correlación de aproximadamente el 99,2% durante la fase de prueba.	Modelos tradicionales de ML y algoritmos de aprendizaje profundo: El artículo analiza la aplicación de una variedad de algoritmos de IA a la construcción de sistemas de productos, incluidos los modelos tradicionales de ML, como las ANN, las máquinas de SVM, los árboles de decisión, Gradient Boosting, los bosques aleatorios, los procesos gaussianos y los GA, así como los algoritmos de aprendizaje profundo, como las CNN y las redes neuronales profundas. .
			Volume 17, December 2022, e01238	DATOS UTILIZADOS: El estudio utilizó datos experimentales de 27 mezclas de hormigón diferentes que incluían tres tipos de cemento (cemento de silicato ordinario, cenizas volantes y humo de sílice) con diferentes niveles de agua y contenidos de cemento. En siete experimentos se midieron las resistencias a la compresión tras 14, 28, 90 y 108 días de curado.		Factores que influyen: se observó que la resistencia a la compresión del hormigón aumenta con el incremento del contenido de humo de sílice y el tiempo de curado. Las cenizas volantes, el agua y los áridos presentan coeficientes de correlación negativos que indican una disminución de la resistencia a la compresión para estos parámetros.	
				CONSTRUCCIÓN DEL MODELO: Con estos datos se construyeron dos modelos SVM-GA, dividiendo los registros de datos en un conjunto de entrenamiento y otro de prueba en una proporción de 4:1. El objetivo de la fase de entrenamiento era optimizar los parámetros de la SVM (ϵ , λ y Σ) mediante el AG, validando el error que guiaba la selección de los parámetros más adecuados.		Comparación con los modelos de regresión: El modelo SVM-GA fue más preciso en la predicción de la resistencia a la compresión, con coeficientes de correlación en el rango del 99,2-99,3% frente al 88-99% del modelo tradicional basado en la regresión.	

	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
9	Generating BIM model from structural and architectural plans using Artificial Intelligence	Martin Urbieta a b, , Matias Urbieta a bTomas Laborde aGuillermo Villarreal aGustavo Rossi a b	Journal of Building Engineering	Objetivo: El objetivo de esta investigación es generar modelos BIM enriquecidos a partir de planos 2D, incluidos planos arquitectónicos y estructurales, utilizando algoritmos de IA.	Este estudio es aplicable al sector de la edificación y la construcción, especialmente en el contexto de la conversión de planos de simulación tradicionales en complejos análisis BIM.	Marco Mask R-CNN: esta investigación utiliza el algoritmo Mask R-CNN para la detección y segmentación de objetos y se implementa en Python, Keras y TensorFlow. Este marco genera cuadros delimitadores y máscaras de segmentación para cada instancia de objeto.	Técnicas de IA: Esta investigación utiliza principalmente el marco Mask R-CNN para la detección y segmentación de objetivos. Además, integra el servicio Cloud Vision de Google para el reconocimiento OCR a fin de extraer texto y sus coordenadas de las imágenes. Esta integración permite emparejar los elementos de planos detectados con sus etiquetas correspondientes, mejorando así el modelo con el contexto y las asociaciones necesarias.
			Volume 78, 1 November 2023, 107672	Proceso: El método consiste en procesar soportes de simulación como papel o planos vectorizados en 2D. El proceso se divide en dos fases: en primer lugar, estos archivos se utilizan para entrenar un modelo de ML y, en segundo lugar, el modelo se utiliza para obtener una representación BIM.		Extracción de información semántica: el proceso consiste en extraer anotaciones de objetos mediante OCR (reconocimiento óptico de caracteres) para enriquecer la información semántica del modelo BIM. El algoritmo coteja los elementos del plano detectados con las etiquetas correspondientes extraídas mediante OCR para crear etiquetas y asociaciones precisas para la expansión del modelo.	
				Enfoque automatizado: este enfoque se centra en lograr la automatización completa de los pasos de la generación de modelos por lotes, en lugar de un enfoque semiautomatizado que restrinja la automatización completa del modelado.		Generación del modelo BIM: el archivo TXT generado que contiene los elementos detectados se utiliza como entrada para el algoritmo de generación del modelo BIM desarrollado en Python. El algoritmo analiza los elementos estructurales detectados almacenados en el archivo que representa cada planta. El modelo estructural BIM IFC (Industrial Foundation Class) se crea utilizando IfcColumn, IfcBeam, IfcSlab, IfcWallStandardCase, IfcDoor e IfcWindow.	Esta investigación demuestra el uso innovador de la IA para transformar planos de edificios tradicionales en modernos modelos digitales BIM, lo que simplifica enormemente el proceso y ofrece posibilidades de uso generalizado en el sector de la construcción.

	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
10	Artificial intelligence in green building	Caleb Debrah, Albert P.C. ChanAmos D arko	Automation in Construction	Metodología utilizada: se trató de una "evaluación sistemática de métodos mixtos", que combinaba métodos bibliométricos cuantitativos con una evaluación cualitativa. Se eligió este enfoque para reducir las conclusiones sesgadas y los juicios subjetivos y aumentar la profundidad y amplitud de la comprensión.	Esta investigación se centra en la aplicación de la IA a la construcción ecológica, abordando los retos de la sostenibilidad y la eficiencia en AEC.	Puntos calientes y tendencias de la investigación: en este artículo se utilizó el análisis de coocurrencia de palabras clave para identificar las principales áreas de inversión de la IA en la construcción ecológica. Las principales áreas son la construcción ecológica, la sostenibilidad, el BIM, la optimización multiobjetivo, la minería de datos, la construcción sostenible, la toma de decisiones, las ANN, el ML, los algoritmos genéticos, la optimización y la eficiencia energética. Se centra especialmente en las aplicaciones del ML en el Reino Unido, con un amplio uso de ANN y GA.	Técnicas de IA: La investigación se centra en diversos métodos de IA, como las ANN, el ML, los GA, las técnicas de optimización y la lógica difusa. Estos métodos se aplican a la toma de decisiones, la optimización, la clasificación, la eficiencia energética, el diseño de edificios, la selección de materiales, etc. en el ámbito de la construcción ecológica.
			Volume 137, May 2022, 104192			ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS: El estudio realizó un análisis de conglomerados para revelar los temas subyacentes y los puntos calientes de la investigación. Se identificaron seis grandes grupos, clasificados en métodos de IA y aplicaciones de GB. El grupo más grande se centraba en el uso de la lógica difusa para tomar decisiones multicriterio en proyectos de gestión de edificios. Otro grupo importante se centró en el confort de los ocupantes, donde se aplicaron métodos de IA como el AG y el control por aprendizaje de refuerzo.	
11	Evaluation of success factors of utilizing AI in digital transformation of health and safety management systems in modern construction projects	Ahsan Waqar a, Andri b, Abdul Hannan Qureshi a e, Hamad R. Almujiabah c, Li za Evianti Tanjung a b, Citra Utami d	Ain Shams Engineering Journal	Revisión bibliográfica: se identificaron 25 factores de éxito utilizando una metodología de revisión bibliográfica cualitativa.	La investigación se aplica principalmente en proyectos de construcción modernos, especialmente para la transformación digital de los sistemas de gestión de la salud y la seguridad, y explora la integración y aplicación efectivas de la IA en este campo	El estudio concluye que los seis elementos clave para integrar con éxito la IA en un sistema de gestión de la salud y la seguridad en la construcción son: adaptabilidad, gestión operativa, fiabilidad, integración y conocimiento. Estas conclusiones aportan información valiosa para mejorar las medidas de seguridad en el sector de la construcción.	El artículo no especifica qué tecnología de IA concreta se ha utilizado. El estudio se centra en el análisis de los factores de éxito de la integración de la IA en los sistemas de gestión de la salud y la seguridad, más que en la aplicación de tecnologías específicas de IA. Esto sugiere que el estudio se centró en evaluar la aplicación general de la IA más que en profundizar en sus detalles técnicos.
			Volume 14, Issue 11, November 2023, 102551	Consulta a expertos sobre el terreno: estos factores fueron validados por expertos del sector de la construcción en el estudio piloto.			
				Análisis factorial exploratorio (AFE): 25 variables de éxito identificadas a partir del estudio bibliográfico se sometieron al AFE para comprender la relación entre ellas.			

	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
				Encuesta piloto y encuesta completa: primero una encuesta piloto con 192 personas del sector de la construcción, seguida de un cuestionario más amplio enviado a 258 personas del sector.			
				Modelización de ecuaciones estructurales: utilizar el análisis para identificar relaciones entre variables observables y componentes potenciales y evaluar modelos de medición.			
12	Towards human-centered artificial intelligence (AI) in architecture, engineering, and construction (AEC) industry	Hamed Nabizadeh Rafsanjani a, Amir Hossein Nabizadeh b c	Computers in Human Behavior Reports	El artículo no describe en detalle la metodología específica de la investigación, sino que se centra en el análisis de las aplicaciones y los retos de la IA centrada en el ser humano en la industria de la AEC. Estos análisis pueden incluir una revisión bibliográfica, estudios de casos o el desarrollo de un marco conceptual, pero la metodología específica no se menciona explícitamente en el resumen.	Arquitectura, ingeniería e industrias de la construcción: el artículo explora la aplicación de la IA en estos campos, en particular cómo el conocimiento, la experiencia y las preferencias humanas pueden combinarse más eficazmente para optimizar y automatizar tareas y actividades en estas industrias.	IA centrada en el ser humano: la IA centrada en el ser humano es necesaria en el sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción para ayudar a las máquinas a comprender y utilizar las aportaciones humanas con el fin de ampliar las capacidades humanas y reflejar conceptos realistas en el sector.	Procesamiento del PLN y comprensión lectora automática: se espera que estas herramientas de IA se comuniquen adecuadamente con los humanos para comprender su lenguaje, comportamiento, intereses y preferencias, e identifiquen y recuperen la información humana necesaria aplicable a una tarea determinada a partir de big data de proyectos anteriores.
			Volume 11, August 2023, 100319			Aplicaciones y retos: La IA centrada en el ser humano comprende y aprende sobre los intereses, preferencias, lenguaje y comportamientos humanos, principalmente a través del procesamiento del PLN y la comprensión lectora automática. Puede proporcionar entornos, sistemas y métodos que respondan a los intereses y preferencias humanos. La personalización y la formación de sus sistemas son los principales retos del desarrollo de esta tecnología en el sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.	
						Resultados deseados: se espera que la IA centrada en el ser humano permita optimizar el tratamiento de los edificios, mejorar las capacidades de diseño e ingeniería, gestionar los proyectos en función de los datos, mejorar la colaboración y aumentar la seguridad.	

	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
13	State-of-the-art AI-based computational analysis in civil engineering	Chen Wang a, Li ng-han Song a, Zhou Yuan a, Jian-sheng Fan a b	Journal of Industrial Information Integration	Búsqueda y selección de bibliografía: el estudio recogió muestras mediante la revisión de artículos revisados por pares utilizando bases de datos como Science Direct, Web of Science, Scopus, ASCE Library, Wiley Online Library, Engineering Village y ProQuest. Las palabras clave se clasificaron en dos grupos, IA e Ingeniería Civil, y se utilizaron para identificar los artículos pertinentes.	Ingeniería civil: el artículo se centra en el uso de técnicas de IA para el análisis de materiales y estructuras en ingeniería civil. Las técnicas de IA se utilizan para predecir toda la gama de respuestas de los materiales y estructuras de construcción ante diferentes estímulos externos, así como para sintetizar características estáticas y dinámicas que permitan realizar análisis exhaustivos de toda la gama de respuestas de diversos materiales y estructuras de construcción.	Eficacia de las técnicas de IA: las técnicas de IA han demostrado su eficacia para facilitar los análisis computacionales de materiales y estructuras de construcción en ingeniería civil. Los estudios de caracterización estática pretenden establecer relaciones cartográficas entre los parámetros estructurales o materiales (por ejemplo, geometría de la sección y proporciones de mezcla de materiales) y sus propiedades mecánicas (por ejemplo, resistencia y modos de fallo). Los estudios de caracterización dinámica se centran en predecir toda la gama de respuestas mecánicas de un material o muestra estructural bajo estímulos externos aleatorios. Los estudios de caracterización compuesta combinan las dos primeras categorías de investigación para obtener toda la gama de respuestas de distintos materiales o estructuras de construcción.	El artículo no describe en detalle técnicas o modelos específicos de IA, sino que ofrece una visión de conjunto de las aplicaciones de la IA en ingeniería civil. Se hace hincapié en el papel de los modelos de IA a la hora de sustituir el ajuste tradicional de funciones, acelerar el proceso de simulación y lograr una precisión aceptable a bajo coste computacional en determinadas condiciones...
			Volume 33, June 2023, 100470	Clasificación de los estudios: los estudios se clasifican en estudios de características estáticas, estudios de características dinámicas y estudios de características compuestas, y cada categoría tiene su metodología genérica, sus modelos de IA comúnmente utilizados y sus aplicaciones representativas descritas en detalle.			
14	Building energy management and forecasting using artificial intelligence: Advance technique	Jueru Huang a, Dmitry D. Koroteev a b, Marina Rynkovskaya a	Computers and Electrical Engineering	El artículo propone un enfoque basado en una estructura estocástica que incluye un método de estimación de puntos y la Optimización del Lobo Gris para proporcionar un procedimiento de programación adecuado para edificios basados en energías renovables. Además, se desarrolla un método de corrección para mejorar la capacidad de búsqueda de GWO.	Gestión de la energía en edificios inteligentes: La investigación se ha centrado en la gestión de la energía en edificios inteligentes, sobre todo teniendo en cuenta la integración de fuentes de energía renovables como el almacenamiento en baterías, las turbinas eólicas, los paneles solares y las turbinas de gas. Este enfoque puede ayudar a abastecer de forma rentable las necesidades energéticas de un edificio y actuar como fuente de suministro de emergencia en caso de problemas de conexión a la red principal (por ejemplo, cortes de electricidad).	MÉTODO DE AHORRO Y GESTIÓN DE LA ENERGÍA: Se propone un enfoque novedoso para el ahorro y la gestión de la energía de los edificios inteligentes para resolver el problema utilizando un marco estocástico basado en MGWO y PEM, que tiene en cuenta el efecto de la incertidumbre.	SVM: se utilizan para predecir la potencia de salida de las turbinas eólicas y las unidades fotovoltaicas para realizar análisis precisos y fiables de gestión de la energía.
			Volume 99, April 2022, 107790			RENDIMIENTO DEL MODELO: La discusión de los resultados de la simulación para un edificio inteligente típico muestra que el modelo es eficaz a la hora de reducir el coste de funcionamiento para las siguientes 24 horas manteniendo las restricciones de igualdad y desigualdad. El algoritmo propuesto demuestra una buena	Optimización Lobo Gris: para mejorar la calidad de la búsqueda y hacer frente a la incertidumbre en los problemas.



	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
						convergencia en la optimización de la función de costes, mientras que el modelo SVM proporciona predicciones adecuadas con valores bajos de MAPE y RMSE.	
						OPTIMIZACIÓN, PREDICCIÓN Y GESTIÓN DEL SISTEMA: Los resultados muestran que el modelo funciona bien a la hora de optimizar, predecir y gestionar el sistema.	
15	A review of the use of artificial intelligence methods in infrastructure systems	Lauren McMillan , Liz Varga	Engineering Applications of Artificial Intelligence Volume 116, November 2022, 105472	Revisión bibliográfica sistemática y enfoque de revisión bibliográfica de bola de nieve: El artículo se basa en una revisión bibliográfica sistemática combinada con un enfoque de revisión bibliográfica de bola de nieve, que es adecuado para áreas interdisciplinarias de investigación, incluidos artículos de revisión o artículos de gran importancia.	Sector de las infraestructuras económicas: el artículo aborda la aplicación de la IA en varios sectores de las infraestructuras, como la energía, el tratamiento del agua y las aguas residuales, el transporte y las telecomunicaciones.	Estudio y aplicación de métodos de IA: El artículo estudia los métodos específicos de IA utilizados en la investigación en el sector de las infraestructuras económicas y los fines para los que se han aplicado, como la construcción de redes, la previsión, el encaminamiento, la supervisión y la seguridad, y la mejora de los recursos o la calidad del servicio.	APRENDIZAJE DE LAS MÁQUINAS: El aprendizaje de las máquinas se describe como el proceso que permite a una máquina acceder a los conocimientos necesarios y aprender a resolver problemas de forma autónoma modificando y adaptando su comportamiento. Normalmente utiliza tres tipos de aprendizaje ampliamente reconocidos: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje por refuerzo. MODELOS DE APRENDIZAJE MÁQUINA COMUNES: El artículo analiza algunos de los modelos de aprendizaje máquina más utilizados y que tienen un rendimiento óptimo en diferentes situaciones.
							Aprendizaje profundo: El DL es una rama relativamente nueva del ML que describe modelos computacionales formados por múltiples capas de procesamiento que aprenden a representar datos con múltiples niveles de abstracción.
16	Artificial intelligence based prediction model for the long-term heat flux losses through ground applied to large non-residential buildings	Ancuța Maria Măgurean a, Levente Czumbil b, Daniela Lucia Manea a, Dan Doru Micu b	Procedia Manufacturing	Este estudio se centra en la mejora de la eficiencia energética en grandes edificios no residenciales, como plantas industriales, edificios de oficinas, edificios comerciales y edificios educativos.	Análisis numérico a largo plazo: análisis numérico 3D hora a hora de un forjado de 30x30 metros sin aislamiento, incluida la interacción con una pared de ladrillo.	Se propone un enfoque híbrido que combina métodos tradicionales de ingeniería y técnicas basadas en IA para reducir significativamente el tiempo de cálculo y el espacio de almacenamiento necesario. +F63;G63	ANN: se ensayó una red neuronal de avance por retropropagación con diversas arquitecturas de red, incluidos distintos números de capas ocultas y neuronas.

	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
			Volume 32, 2019, Pages 434-441	En particular, aborda las pérdidas de flujo de calor de los forjados de estos edificios, que es un aspecto relativamente poco estudiado en el campo de la eficiencia energética de los edificios.	Aplicación de redes neuronales: utilizando la caja de herramientas de redes neuronales de MATLAB, se construyó un modelo de red neuronal artificial para predecir las pérdidas de flujo de calor a largo plazo basándose en los resultados del análisis numérico.	Se evaluó la pérdida de flujo de calor de los forjados durante un largo periodo de tiempo mediante un modelo de IA, proporcionando un enfoque integrado para el estudio de la transferencia de calor de un gran edificio al terreno circundante.	Se utilizó la regularización bayesiana, un método de generalización mejorado que optimiza automáticamente los parámetros de la red.
17	BIM, Artificial Intelligence and Construction Tech	Rafael Sacks PhD a b, Mark Girolami PhD b, Ioannis Brilakis PhD b		Análisis histórico: repasa las investigaciones y tendencias pasadas en tecnología de la construcción.	Construcción: se centra en la innovación digital en la construcción, especialmente en el uso del BIM, IA y otras tecnologías en el proceso de construcción.	El auge de la tecnología de la construcción: este documento destaca el importante impacto del capital riesgo y las empresas de nueva creación en el sector de la "tecnología de la construcción".	Sistemas basados en reglas y ML: para automatizar el cumplimiento de códigos y las comprobaciones de diseño.
			Developments in the Built Environment	Estudios de casos: se examinan áreas específicas de la tecnología de la construcción, como el diseño automatizado, la comprobación del cumplimiento de códigos y la supervisión del rendimiento de los proyectos.	Aplicaciones específicas: diseño automatizado, diseño de construcción, supervisión y control del rendimiento del proyecto mediante BIM e IA.	BIM como base: se subraya el papel central de BIM como apoyo a la innovación en tecnología de la construcción.	Enriquecimiento semántico: uso de la IA para complementar los modelos BIM con la información necesaria.
			Volume 4, November 2020, 100011	Marco teórico: se propone un modelo de "casa de tecnología de la construcción" para explicar la interacción de las tecnologías en los edificios.		Retos y perspectivas de futuro: se identifican los principales retos, como la necesidad de enriquecer semánticamente los modelos BIM y proporcionar representaciones adecuadas para las aplicaciones de ML. Se presagia un futuro en el que la IA y el BIM se integrarán de forma más fluida.	PRy ML: para analizar y procesar datos BIM para diversas aplicaciones de construcción.
18	Neuro-fuzzy systems in construction engineering and management research	Getaneh Gezahegne Tiruneh a, Aminah Robinson Fayek b, Vuppuluri Sumathi c	Automation in Construction	Revisión sistemática de la: el estudio llevó a cabo una revisión exhaustiva y un análisis de contenido de los artículos publicados relacionados con la ENF en los estudios de CEM. 2	CEM: esta investigación se centra en la aplicación de las NFS a todos los aspectos de la CEM, incluidos la toma de decisiones, la previsión/predicción, la valoración/evaluación, la modelización y el análisis de sistemas, la simulación y la optimización.	Versatility of NFS in CEM (Versatilidad de las NFS en la CEM): este documento destaca una variedad de aplicaciones de las NFS en la CEM, demostrando su eficacia a la hora de tratar problemas no lineales complejos habituales en los proyectos de construcción.	Sistemas Neuro-Fuzzy (NFS): Esta investigación se centra en los NFS, que son modelos híbridos que combinan ANN y sistemas de lógica difusa. Incluye varios tipos de NFS, como los sistemas adaptativos de inferencia neurodifusa, los NFS colaborativos, los concurrentes y los híbridos.



	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
			Volume 119, November 2020, 103348	Análisis de métodos de clasificación (Classification Methods Analysis): se exploran diferentes métodos de clasificación de NFS basados en la arquitectura de NFS, algoritmos de aprendizaje, métodos difusos y áreas de aplicación.		Performance Evaluation Criteria (Criterios de evaluación del rendimiento): identifica los criterios de evaluación del rendimiento de las NFS, como la velocidad de convergencia, la complejidad computacional, la precisión y la interpretabilidad.	Diversos algoritmos de aprendizaje: Se analiza el uso de distintos algoritmos de aprendizaje en los SNA, como el aprendizaje híbrido basado en gradientes, las máquinas de aprendizaje extremo (ELM) basadas en poblaciones y los SNA basados en SVM.
19	Integrated structural health monitoring in bridge engineering	Zhiguo He a b, Wentao Li a c, Hadi Salehi d, Hao Zhang a, Haiyi Zhou a, Pengcheng Jiao a b	Automation in Construction	Revisión técnica	Supervisión de la ingeniería de puentes (Bridge Engineering Monitoring): el documento se centra en la aplicación de los sistemas SHM a la ingeniería de puentes, abarcando aspectos como la integridad estructural, la capacidad de carga y la seguridad general.	Importancia de la integración de tecnologías (Importance of Technology Integration): el documento subraya la necesidad de integrar diversas tecnologías, como las redes de sensores inalámbricos, la fusión de datos y los análisis basados en la IA para una GSS eficaz.	Procesamiento de datos y Data Processing and Pattern Recognition: el artículo se centra en la aplicación de técnicas de IA en el procesamiento de datos y el PR para el análisis de la SHM.
			Volume 136, April 2022, 104168	Casos prácticos	Sistemas de alerta temprana de catástrofes (Disaster Early Warning Systems): también se analiza la aplicación de sistemas de alerta temprana para posibles catástrofes como terremotos, inundaciones y fallos estructurales.	Tendencias y retos de futuro (Future Trends and Challenges): se señalan los retos y las futuras líneas de investigación para la GSS, especialmente la necesidad de métodos más avanzados de análisis de datos y de sistemas fiables de alerta temprana.	Sistemas de alerta temprana (Early Warning Systems): se utilizan métodos de IA para desarrollar sistemas avanzados de alerta temprana que permitan predecir y mitigar posibles fallos estructurales.
20	Integrated practices in the Architecture, Engineering, and Construction industry: Current scope and pathway towards Industry 5.0	Ayodele Emmanuel Ikudayisi a b, Albert P.C. Chan a, Amos Darko a, Yomi M.D. Adedeji b	Journal of Building Engineering	Extracción de bibliografía: el estudio extrajo datos de la bibliografía pertinente.	Industria de AEC: la bibliografía se centra en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción, especialmente a medida que avanza hacia la Industria 5.0.	Prácticas integradas: el estudio analiza las aplicaciones actuales y las orientaciones futuras de las prácticas integradas en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.	BIM: el estudio analiza el uso de BIM en el sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.
			Volume 73, 15 August 2023, 106788	Análisis bibliográfico econométrico: se utilizaron los métodos de mapeo de resultados y mapeo científico.	Palabras clave: modelización del BIM, blockchain, ejecución integrada de proyectos, Industria 5.0 y sostenibilidad.	Industria 5.0: analiza cómo estas prácticas pueden integrarse con el concepto de Industria 5.0, especialmente en términos de IA e integración tecnológica.	Blockchain: se exploran las posibles aplicaciones de la tecnología blockchain en el sector de la construcción.
				Revisión crítica basada en grupos temáticos: se analizaron y discutieron en detalle diferentes temas.			Entrega Integrada de Proyectos: es un método de entrega de proyectos que incorpora la colaboración entre múltiples partes y puede utilizarse junto con tecnologías como BIM y blockchain.



	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Método de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
21	Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic, and highway infrastructure management: Recent advances and challenges	Fatma Outay a, Hanan Abdullah Mengas h b, Muhammad Adnan c	Transportation Research Part A: Policy and Practice	Extracción de bibliografía: el estudio extrajo datos de la bibliografía pertinente.	Búsqueda bibliográfica: en este estudio se extrajeron datos de la bibliografía pertinente.	Prácticas integradas: el estudio analiza las aplicaciones actuales y las orientaciones futuras de las prácticas integradas en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.	BIM: el estudio analiza el uso de BIM en el sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.
			Volume 141, November 2020, Pages 116-129	Análisis bibliográfico econométrico: se utilizaron los métodos de mapeo de resultados y mapeo científico.	Análisis econométrico de la bibliografía: se utilizaron métodos de mapeo de resultados y mapeo científico.	Industria 5.0: analiza cómo estas prácticas pueden integrarse con el concepto de Industria 5.0, especialmente en términos de IA e integración tecnológica.	Blockchain: se exploran las posibles aplicaciones de la tecnología blockchain en el sector de la construcción.
				Revisión crítica basada en grupos temáticos: se analizaron y discutieron en detalle diferentes temas.			Entrega Integrada de Proyectos IPD): IPD es un método de entrega de proyectos que incorpora la colaboración entre múltiples partes y puede utilizarse junto con tecnologías como BIM y blockchain.

TABLA 2 5.1.2 Análisis de la literatura relacionada con la IA y la gestión de la calidad en ingeniería



5.2 Conceptos básicos de IA

5.2.1 Definición y origen.

El profesor Nelson define la IA como "la disciplina del conocimiento, la ciencia de cómo representar el conocimiento, y cómo adquirirlo y utilizarlo." Por otro lado, el profesor Winston, del Instituto Tecnológico de Massachusetts en Estados Unidos, describe la IA como 'el estudio de cómo hacer que los ordenadores realicen tareas inteligentes que anteriormente solo podían ser ejecutadas por seres humanos' (GaussMind, 2022). Estas perspectivas reflejan la esencia y el núcleo de la disciplina de la IA. La IA se conceptualiza como la exploración de los principios subyacentes a las actividades inteligentes humanas y la creación de sistemas artificiales que imiten ciertos aspectos de esta inteligencia. Esto implica investigar cómo programar ordenadores para realizar tareas que tradicionalmente requieren cognición humana, utilizando hardware y software informático para replicar teorías, métodos y técnicas fundamentales asociadas a comportamientos humanos inteligentes.

5.2.2 Principales ramas y campos de aplicación.

La IA es un campo extenso y multidisciplinario. Actualmente, abarca una variedad de disciplinas importantes, que se pueden clasificar en seis categorías principales:

- **Visión por Computador:** Incluye temas como el reconocimiento de patrones (PR), el procesamiento de imágenes y otras áreas relacionadas.
- **Comprensión y Comunicación en Procesamiento del Lenguaje Natural (PLN):** Abarca el reconocimiento y la síntesis del habla, incluyendo los sistemas de diálogo.
- **Cognición y Razonamiento:** Engloba un amplio rango de conocimientos, desde aspectos físicos hasta sociales.
- **Robótica:** Comprende mecánica, controles, diseño, planificación del movimiento, planificación de tareas y otros aspectos relacionados.
- **Juegos y Ética:** Trata temas como la interacción, confrontación y cooperación entre múltiples agentes, la integración de robots en la sociedad, y cuestiones éticas.
- **ML:** Incluye enfoques estadísticos para modelización, herramientas analíticas y computacionales.

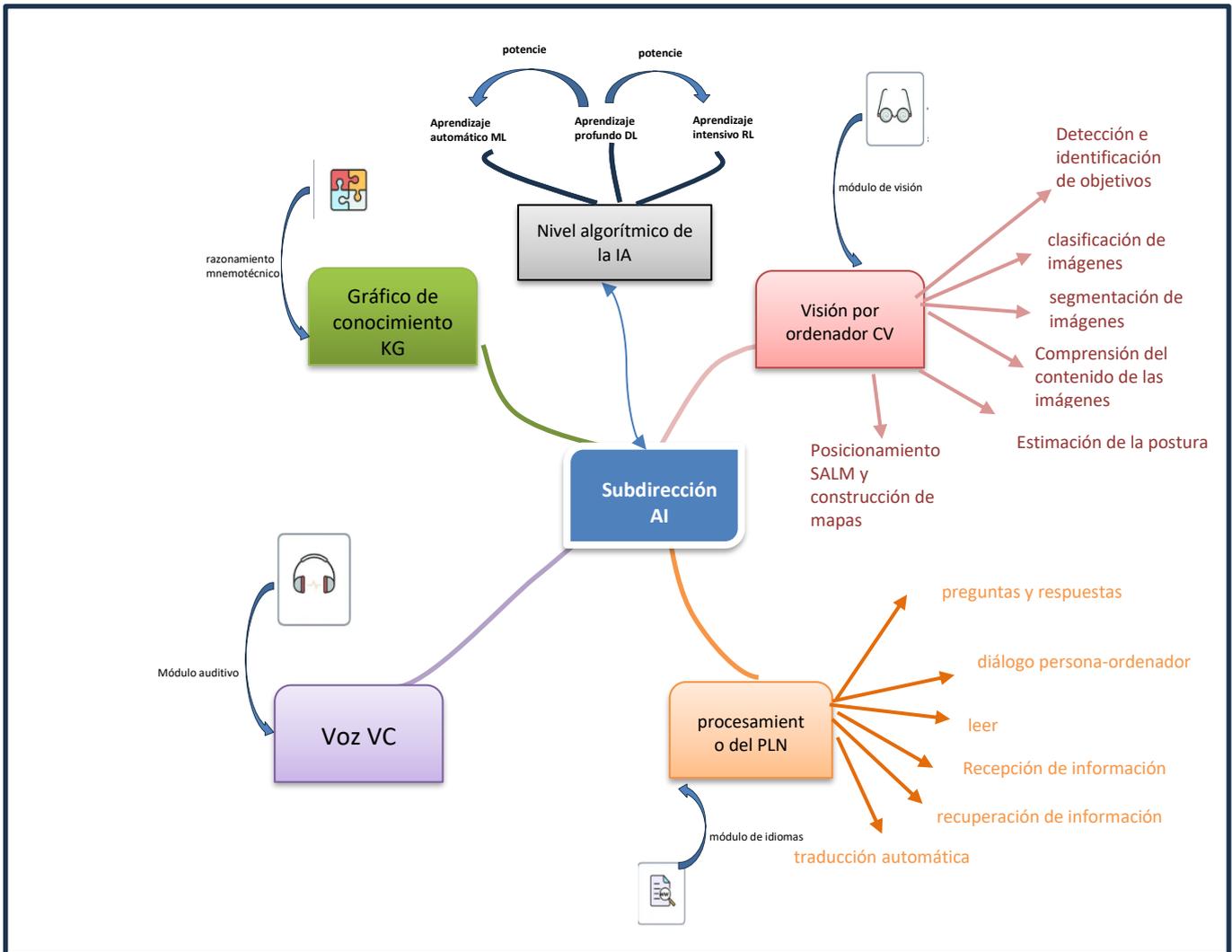


GRÁFICO 5 5.2.2 Subdirección de IA

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 La diferencia entre la IA y la informática tradicional.

Tanto la IA como los ordenadores tradicionales operan a través de la computación, pero existen diferencias clave entre ellos, reflejadas principalmente en cuatro aspectos:

- Capacidad de Aprendizaje: Los algoritmos de IA poseen la capacidad de aprender de manera autónoma, basando su funcionamiento en los datos existentes y mejorándose continuamente a través del procesamiento y análisis de estos datos. Por el contrario, los algoritmos tradicionales requieren orientación e intervención humana para su ejecución y desarrollo.

- Complejidad: La IA puede abordar problemas de gran complejidad, incluyendo no solo el procesamiento de texto y código, sino también el reconocimiento de imágenes, el procesamiento del lenguaje natural y el reconocimiento de voz. Los algoritmos tradicionales, en cambio, suelen

estar limitados a tareas más específicas y menos complejas.

- Generalidad: Los algoritmos de IA son versátiles y pueden aplicarse a una amplia gama de dominios, mientras que los algoritmos tradicionales suelen ser específicos para aplicaciones concretas.

- Complejidad Computacional: Los algoritmos de IA manejan una mayor complejidad computacional, abordando problemas más sofisticados que requieren extensos recursos computacionales para el análisis y el aprendizaje. Los algoritmos tradicionales, en cambio, suelen abordar problemas más simples y homogéneos, resultando en una menor complejidad computacional.

5.3 Aplicación de la IA a la gestión de la calidad

escenario de aplicación	Cuestiones que deben estudiarse	Medios de solución
Gestión de costes de proyectos	Predicción de los costes del proyecto, estimación de los recursos, predicción de los importes de las ofertas ganadoras, adquisición y gestión de la información de la lista de cantidades, gestión óptima de los recursos, seguimiento de la actividad de los trabajadores de la construcción y evaluación automatizada.	Formación de ANN, IA combinada con análisis de regresión, ontología, algoritmo k-nearest neighbor, técnicas web, mínimos cuadrados ordinarios
Gestión del tiempo del proyecto	Optimización de la planificación del avance de la construcción, detección del avance de la construcción, previsión de la duración, análisis en tiempo real del avance de la construcción, análisis de los retrasos en la construcción, simulación de la previsión de la productividad de la construcción	GA, cuerpos inteligentes y BIM 4D, métodos de optimización no lineal, mínimos cuadrados, procesos de Markov, ontología, redes neuronales e inferencia difusa.
Gestión de riesgos del proyecto	Armonización del etiquetado de recursos, predicción de indicadores de seguridad para riesgos en obras de proyectos, evaluación de riesgos en la construcción, predicción de la fatiga de los trabajadores de la construcción, evaluación de la incertidumbre en materia de seguridad, evaluación de riesgos de retrasos en proyectos, evaluación y predicción de los niveles de rendimiento de la seguridad de los proyectos.	ML, sensores móviles y ML, ANN, modelización en la nube y teoría de conjuntos difusos, regresión de vectores de soporte
Gestión de la calidad de los proyectos	Optimización del proceso de construcción y prevención de defectos, pruebas de calidad, pruebas de actividades de construcción, estimación de la compatibilidad del hormigón, predicción de fugas en tuberías de construcción	Algoritmos de búsqueda prohibida, RV y cuerpos inteligentes, ANN, ML, regresión vectorial por mínimos cuadrados, BIM y ontología
Gestión de decisiones de proyectos	Mejora de la toma de decisiones en la gestión de la construcción y establecimiento de un sistema de apoyo a la toma de decisiones	ANN, análisis morfológico y redes bayesianas de creencias
Gestión de licitaciones de proyectos	Comprobación de la conformidad, decisiones de licitar o no licitar	Minería de datos, máquinas de vectores soporte
Gestión de adquisiciones de proyectos	Cadena de suministro integrada, conocimiento de la ubicación de la cadena de suministro	Ontología, tecnologías web, inteligencias



TABLA 3 5.3 Investigación sobre la aplicación de la IA en la gestión de proyectos de ingeniería

La ingeniería civil, que ha evolucionado paralelamente al desarrollo de la sociedad humana, abarca una amplia gama de aplicaciones en diversos países y es eminentemente práctica. Con el desarrollo continuo de la IA, se anticipa una revolución en el campo de la ingeniería civil. Actualmente, estamos transitando hacia la era post-móvil, marcada por el declive del dividendo del desarrollo de Internet móvil. En este contexto de cambio industrial global, la IA se ha posicionado como el eje central de esta transformación. La fusión de la IA con la ingeniería civil representa una nueva dinámica de beneficio mutuo: la IA no solo impulsa la modernización y transformación de la industria de la ingeniería civil, sino que también se enriquece y fortalece mediante su aplicación en proyectos reales, aprendiendo de una gran cantidad de casos y datos, y logrando un rendimiento cada vez más optimizado y perfeccionado.

La tecnología de la IA se aplica en numerosos aspectos de la gestión de calidad en las diferentes etapas de los proyectos de ingeniería civil. Para organizar mejor esta información, la aplicación de la IA en la gestión de calidad se presentará de manera estructurada, siguiendo una línea temporal y las distintas fases del proyecto de ingeniería civil. Esta aproximación nos permitirá comprender de forma clara y detallada cómo la IA contribuye a cada etapa del proyecto, mejorando la eficiencia y la calidad del mismo.

5.3.1 Fase de preparación y diseño del anteproyecto

Durante la fase de preparación y diseño de un proyecto de ingeniería civil, la gestión de la calidad tiene como objetivo garantizar que el diseño y los planes del proyecto cumplan con las normas y requisitos de calidad establecidos, sentando así una base sólida para las fases posteriores de construcción y mantenimiento. Las decisiones tomadas y los planes desarrollados en esta etapa tienen un impacto directo en la calidad de las fases subsiguientes. Una gestión eficaz de la calidad en esta etapa puede prevenir o minimizar problemas de calidad y costes en etapas futuras, mejorando así la calidad y eficacia globales del proyecto. En esta fase, la aplicación de la IA se manifiesta principalmente en los siguientes aspectos:

- Optimización del diseño

La IA asiste en la planificación del proceso completo del proyecto y en las medidas de gestión de la producción, analizando datos históricos de construcción y proporcionando previsiones precisas del tiempo y recursos necesarios, optimizando los planes de construcción mediante algoritmos y modelos. La IA ajusta la secuencia de construcción basándose en dependencias y prioridades, mejorando la eficiencia y el éxito del proyecto.

- Evaluación de riesgos

La IA analiza datos históricos y externos para identificar riesgos de calidad, supervisar el progreso en tiempo real, y ofrecer soluciones adecuadas. Permite un seguimiento en tiempo real, emitiendo alertas de peligro y controlando el calendario de producción. Los contratistas utilizan la IA para priorizar y mitigar riesgos, clasificando subcontratistas según las puntuaciones de riesgo y trabajando con equipos de alto riesgo para reducir estos riesgos.

- Controles de conformidad

Con la complejidad creciente de los proyectos y la diversidad de normas y reglamentos, la IA ofrece una solución para los controles de conformidad automatizados. Los sistemas de IA pueden verificar automáticamente la conformidad de los documentos de diseño, analizando términos y expresiones relacionados con las normas de ingeniería civil y utilizando algoritmos de detección de anomalías para identificar posibles problemas y riesgos de cumplimiento. Esto reduce el tiempo y esfuerzo de la revisión manual, disminuye los errores humanos, y acelera el progreso del proyecto.

5.3.2 Fase de licitación y contrato

En la fase de licitación, el trabajo principal consiste en determinar el precio límite de la lista de licitación y del contrato. Tareas como el cálculo de cantidades, la preparación de listas de cantidades, la agrupación de precios fijos y el ajuste de precios de materiales son complejas y requieren una carga de trabajo considerable. La IA puede facilitar estas tareas, ayudando en la agrupación inteligente de precios y en la determinación de precios por lotes basándose en datos históricos y la información de crédito de proveedores. Esto permite una evaluación más precisa y favorable del rendimiento y riesgo de los proveedores.

5.3.3 fase de preparación de la construcción

- plan de construcción.

En la planificación y gestión de la construcción, la eficiencia es un aspecto fundamental en el sector de la edificación. Tradicionalmente, la gestión de la seguridad en la construcción ha enfrentado desafíos como la distribución ineficiente de recursos humanos y el manejo deficiente de información. En este contexto, la IA emerge como una solución clave, facilitando a los gestores la asignación óptima de recursos y la planificación efectiva de tareas. Mediante la implementación de sistemas inteligentes de gestión de construcción, la IA puede mejorar significativamente la distribución de recursos y la programación de actividades. Esto se logra considerando factores críticos como el avance actual de la construcción, las necesidades específicas del trabajo y las habilidades del personal. Este enfoque inteligente no solo optimiza el rendimiento del personal, sino que también reduce el desperdicio de recursos y la escasez de mano de obra, mejorando así la eficacia general en la gestión de seguridad de las construcciones.



Adicionalmente, el uso de la tecnología BIM para la gestión del progreso de la construcción aporta una dimensión adicional de eficiencia. BIM permite la preparación de un plan de progreso detallado, incluyendo el plan de hitos, el plan general, el plan de construcción y planes multinivel. Estos planes se ajustan según los requisitos del sistema para facilitar la aprobación, la retroalimentación y la alerta temprana de anomalías en el progreso. La combinación de BIM con la función de simulación de cronograma 4D permite una gestión visual y dinámica del progreso en el sitio de construcción. Esto incluye el marcado oportuno en el modelo BIM para ajustar procesos en el cronograma y coordinar eficientemente la gestión entre varias unidades. El resultado es un control del progreso más exhaustivo y efectivo, que permite a los gestores de proyecto optimizar la ejecución y asegurar la calidad y seguridad en el sitio de construcción.

- Disposición y despliegue de recursos

La disposición y despliegue de recursos en el sector de la construcción están siendo revolucionados por la escasez de mano de obra y la necesidad de mejorar la productividad. Las empresas constructoras, motivadas por un informe de McKinsey de 2017 que afirma que la productividad puede aumentar en un 50% mediante el análisis de datos en tiempo real, están invirtiendo en IA y ciencia de datos (McKinsey, 2017). La incorporación de la IA y el ML está mejorando significativamente la planificación y distribución de recursos humanos y maquinaria en las obras.

La IA asiste a los gestores en la asignación y programación eficiente de recursos, utilizando sistemas avanzados que se adaptan a la evolución de la obra, las necesidades específicas del proyecto y las habilidades del personal. Este enfoque inteligente no solo incrementa la eficiencia laboral, sino que también reduce el desperdicio de recursos y la escasez de trabajadores, contribuyendo así a una mejor gestión de la seguridad en la construcción.

Además, los robots equipados con IA monitorean continuamente el progreso de la obra y la ubicación del personal y equipos, proporcionando información crucial para determinar dónde se necesitan más recursos para cumplir con los plazos del proyecto. Se espera que, con los avances continuos en IA, estos robots de construcción evolucionen hacia una mayor autonomía e inteligencia, lo que potenciará aún más la eficiencia y la seguridad en los sitios de construcción.

5.3.4 Fase de ejecución de la obra

- Gestión de procesos.

En la gestión de procesos durante la fase de ejecución de la obra, las principales tareas incluyen la revisión del informe de progreso, la revisión de cambios y otros aspectos relevantes de la gestión. La tecnología de IA juega un papel crucial en estos procesos. Por ejemplo, la revisión del

informe de progreso se puede llevar a cabo eficientemente mediante IA, utilizando modelos de construcción para lograr un seguimiento en tiempo real y proporcionar estadísticas detalladas del progreso.

Además, la IA facilita la gestión de cambios, incluyendo el cálculo de costes adicionales y la comparación de esquemas de diseño. Esto implica analizar el contenido real del trabajo que se ha modificado, el volumen de trabajo implicado y ajustar los precios de acuerdo con estos cambios. Mediante el uso de la IA, estos procesos complejos se pueden realizar de manera más rápida y precisa, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos y una toma de decisiones más informada.

- control de calidad en tiempo real

En primer lugar, a través de la tecnología de IA, se puede lograr el monitoreo en tiempo real de la obra de construcción. La aplicación de sensores y cámaras puede recopilar datos de la obra, incluida información sobre temperatura, humedad, actividades del personal y otros aspectos. Mediante el análisis y el procesamiento de datos de la IA, podemos captar con precisión el estado de la obra, detectar problemas a tiempo y tomar las medidas correspondientes.

Por ejemplo, en la obra del proyecto, podemos llevar a cabo el control de seguridad del personal mediante la tecnología de reconocimiento de la IA, como el uso del casco. La IA no sólo puede reconocer si se lleva casco, sino también puntuar según la postura de uso del casco



GRÁFICO 6 5.3.4 El reconocimiento inteligente puntúa los cascos según su posición de uso

Fuente: Bai Du

En segundo lugar, la gestión del proceso de construcción basada en la IA puede proporcionar un apoyo más inteligente a la toma de decisiones. Mediante el establecimiento de modelos y algoritmos para el proceso de construcción, éste puede simularse y optimizarse. La IA puede llevar a cabo una programación inteligente de acuerdo con el plan de construcción y la situación real, organizando razonablemente recursos como la mano de obra, los recursos materiales y el tiempo,



con el fin de optimizar el proceso de construcción y mejorar la eficiencia y la calidad de la construcción.

- Detección automática de la calidad.

En la supervisión del proceso de construcción, la IA desempeña un papel crucial en la detección automática de la calidad. Esto se logra mediante tecnologías avanzadas como el reconocimiento de imágenes y el análisis de vídeo. Al analizar las imágenes y vídeos capturados en la obra, la IA puede identificar rápidamente y con precisión posibles problemas de calidad, tales como grietas, deformaciones y defectos en los materiales. Una vez detectados estos problemas, se pueden tomar medidas correctivas oportunamente para mejorar la calidad general de la construcción.

Además, la IA contribuye al control de calidad en la construcción mediante el análisis de datos y la predicción de modelos. Recopilando y analizando grandes volúmenes de datos de construcción, como el uso de materiales, el progreso de los trabajos y los resultados de las pruebas de calidad, se pueden desarrollar modelos de datos específicos para el control de calidad. Estos modelos se utilizan para predecir posibles problemas durante el proceso de construcción a través de técnicas de ML y análisis estadísticos. Esta capacidad predictiva permite a los gestores de proyectos intervenir y realizar ajustes de manera proactiva para prevenir o abordar problemas de calidad de manera efectiva.

- Seguridad en la construcción

La seguridad en la construcción es una preocupación primordial, ya que los trabajadores de la construcción enfrentan un riesgo significativamente mayor de accidentes mortales en comparación con otros trabajadores. Según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, 2019), las principales causas de muerte en la industria de la construcción, excluyendo las colisiones en carretera, son las caídas, los impactos con objetos y las muertes por electrocución. En este contexto, la IA emerge como una herramienta vital para predecir y prevenir riesgos para la seguridad.

La IA tiene la capacidad de analizar datos históricos y supervisar en tiempo real las condiciones de las obras, utilizando algoritmos de aprendizaje profundo para inspeccionar y analizar los datos de las obras de construcción. Esta tecnología puede identificar posibles riesgos de seguridad y emitir alertas preventivas, permitiendo a los responsables de la construcción tomar medidas oportunas para evitar accidentes y salvaguardar la seguridad de los trabajadores.

Además, la IA también se aplica en la vigilancia de seguridad y la alerta temprana de accidentes en las obras. A través de la instalación de cámaras de vigilancia y sensores, la IA puede monitorear la obra en tiempo real e identificar comportamientos inseguros o anómalos. En caso de detectar una situación peligrosa, la IA puede enviar alertas inmediatas al personal relevante, ayudando a los directores de obra a actuar de manera rápida y eficaz para prevenir posibles



accidentes y proteger la vida de los trabajadores.

5.3.5 Fase de aceptación y entrega del proyecto

- aplicados al cálculo de costes y a la facturación

La aplicación de modelos predictivos basados en IA en ingeniería es una herramienta valiosa para la estimación de costes y la facturación en proyectos de construcción. Estos modelos, que utilizan grandes cantidades de datos históricos, pueden identificar patrones y rutinas en proyectos anteriores. A través de algoritmos de ML, estos modelos extraen automáticamente información relevante de proyectos previos y la aplican a proyectos actuales, permitiendo predecir el progreso y los costes en función de parámetros clave como el tamaño del proyecto, el coste de los materiales y el tiempo de construcción.

El control de costes es un aspecto crítico en cualquier proyecto de gran envergadura, donde es común superar el presupuesto incluso con equipos altamente cualificados. Para mitigar este riesgo, se emplean ANN que consideran factores como el tamaño del proyecto, el tipo de contrato y la habilidad del director del proyecto. Estos modelos predictivos, basados en datos históricos como las fechas estimadas de inicio y finalización, proyectan los plazos reales de futuros proyectos y contribuyen a una gestión de costes más eficaz.

Además, la IA facilita la formación a distancia de los empleados, mejorando sus habilidades de manera eficiente y acelerando la ejecución de proyectos. En el ámbito de la liquidación de proyectos, la tecnología de IA puede automatizar el proceso cuando la información se coteja según un patrón fijo, reduciendo la intervención humana. Sin embargo, la evaluación posterior al proyecto aún requiere de un análisis exhaustivo por parte de los ingenieros de costes, comparando proyectos finalizados del mismo tipo y considerando toda la información del proceso del proyecto. En este análisis, la IA puede ser una herramienta de apoyo útil, asistiendo en el proceso de análisis y facilitando la toma de decisiones informadas.

- Auditoría y evaluación de la calidad:

Durante la etapa de aceptación y entrega de un proyecto, la auditoría de calidad tradicional, basada en una gran cantidad de información, requiere un considerable esfuerzo humano y tiempo, y está sujeta a errores debido a posibles omisiones. Aquí es donde la tecnología de IA muestra su valor. La IA puede ser utilizada para apoyar la generación automática y la auditoría inteligente de informes de calidad en proyectos de ingeniería civil. Esta aplicación de la IA simplifica la documentación de la gestión de calidad y mejora la precisión de los informes.

Además, la IA tiene la capacidad de revisar de forma automática los documentos y datos relacionados con la calidad para evaluar el rendimiento de la calidad del proyecto. Esto no solo garantiza una mayor precisión en la evaluación, sino que también ayuda a identificar oportunidades

de mejora de calidad. Al automatizar estas tareas, la IA reduce significativamente la carga de trabajo y el riesgo de errores humanos, lo que contribuye a una gestión de calidad más eficiente y eficaz.

5.3.6 Fase de evaluación y mantenimiento posterior al proyecto

El éxito en proyectos de ingeniería civil no solo se mide por la ejecución puntual y la gestión eficaz de la calidad, sino que también incluye la crucial fase de evaluación y mantenimiento post-proyecto, que es esencial para el crecimiento y mejora continuos de una empresa. En esta etapa, las tecnologías de IA desempeñan un papel significativo, proporcionando nuevas herramientas y oportunidades para mejorar la gestión de calidad post-proyecto.

- Resumir y compartir los conocimientos sobre calidad

Mediante la aplicación de la tecnología de IA, es posible analizar y procesar de manera sistemática los datos y documentos de calidad de un proyecto. Utilizando tecnologías como PLN y ML, se puede resumir y refinar el conocimiento y la experiencia adquiridos en la gestión de calidad. Esto se logra clasificando y estructurando los documentos y datos de calidad del proyecto en categorías relevantes.

A partir de esta información, se puede crear una base de conocimientos sobre calidad que respalde la mejora continua en este campo y facilite la recuperación de conocimientos para proyectos futuros. Para maximizar el potencial de esta base de conocimientos, se ha desarrollado una plataforma de intercambio de conocimientos basada en IA. Esta plataforma ofrece funciones como la recuperación de conocimientos, recomendaciones y herramientas de comunicación, facilitando el intercambio de información y aprendizaje entre equipos. Además, brinda apoyo y experiencia para los próximos proyectos de la empresa.

El uso de la IA en este contexto no solo mejora la gestión de la calidad en proyectos individuales, sino que también contribuye al desarrollo y la eficiencia de toda la organización, permitiendo un aprendizaje colectivo y una mejora continua basados en la experiencia acumulada.

- Optimización del mantenimiento

La optimización del mantenimiento en proyectos de ingeniería civil se puede mejorar significativamente a través del uso de la IA. Al analizar los datos históricos de mantenimiento y la supervisión en tiempo real, la IA permite una comprensión profunda de los procesos y programas de mantenimiento. Esto incluye la capacidad de predecir las necesidades y tiempos de mantenimiento futuros de manera precisa.

Mediante algoritmos de optimización, la IA puede ajustar y mejorar los procesos y programas de mantenimiento en función de las necesidades previstas. Este enfoque busca reducir los costos y riesgos asociados con el mantenimiento, al mismo tiempo que mejora su eficiencia y efectividad.

Además, la IA puede ser utilizada para analizar los datos obtenidos después de las

actividades de mantenimiento, evaluando así la eficacia de los programas implementados. Esto incluye la identificación de oportunidades para optimizar aún más el mantenimiento. Estas metodologías de análisis y optimización basadas en IA pueden mejorar de manera significativa la eficacia y la calidad del mantenimiento, asegurando la seguridad y la estabilidad a largo plazo de las estructuras de ingeniería civil.

5.4 Retos de la IA en el ámbito de la gestión de la calidad en la ingeniería de la construcción

5.4.1 Retos tecnológicos

Actualmente, la IA enfrenta limitaciones técnicas, especialmente en proyectos de ingeniería civil, que se diferencian de otros sectores industriales debido a su inherente incertidumbre y riesgo. Las tecnologías de IA aún tienen una capacidad limitada para manejar complejidades, entornos cambiantes e incertidumbres, características comunes en la construcción de edificios. Factores como cambios repentinos en el clima, las condiciones laborales y la disponibilidad de materiales pueden afectar significativamente el progreso y la calidad de la construcción. Predecir y responder a estos riesgos mediante la IA es un desafío que todavía está en proceso de investigación. En este contexto, la IA se utiliza más como una herramienta auxiliar para apoyar al personal en el análisis de datos y la toma de decisiones, en lugar de reemplazar completamente el trabajo de los ingenieros.

Con el avance continuo de la tecnología de IA, se espera que algunas tareas, como el cálculo de costes en ingeniería, puedan ser eventualmente automatizadas. Sin embargo, aspectos como la negociación de contratos aún no pueden ser gestionados por la IA, debido a que estos procesos implican una interacción compleja y un juego de estrategias entre las partes involucradas. La negociación de contratos requiere experiencia y habilidades humanas, siendo un reflejo de la capacidad integral del personal de negocios de ambas partes.

5.4.2 Desafíos en economía

La implementación efectiva de la IA en proyectos de ingeniería civil requiere una inversión significativa en la recopilación y el procesamiento de grandes volúmenes de datos, lo que implica un extenso trabajo preparatorio. Aunque la IA puede aportar numerosos beneficios y conveniencias a estos proyectos, su utilización demanda una considerable inversión de recursos y esfuerzo humano. Esto representa un costo que puede ser difícil de asumir para individuos o incluso para pequeñas empresas.

Además, la tecnología de IA se encuentra en constante evolución y actualización. Esto implica que su uso conlleva la necesidad de invertir de forma continua en su actualización y mantenimiento.

Estos costos adicionales pueden incrementar significativamente la carga financiera para las empresas, especialmente para aquellas que tienen recursos limitados. Por lo tanto, a pesar de las ventajas que ofrece la IA, su implementación en la ingeniería civil enfrenta retos económicos considerables, que deben ser evaluados cuidadosamente por las empresas antes de su adopción.

5.4.3 Retos medioambientales y políticos

La implementación de la IA enfrenta ciertas limitaciones medioambientales y políticas. En el ámbito de la construcción, la complejidad de las estructuras de los edificios, las características topográficas del terreno, el clima local y otros factores requieren que la IA realice extensos análisis de datos y trabajos de modelización bajo condiciones de incertidumbre. Además, es necesario que la IA se ajuste a los códigos de construcción locales, teniendo en cuenta factores como las políticas y reglamentos vigentes.

6. big data analytics en la gestión de la calidad.

6.1 sificación de la literatura

Como se ilustra en el gráfico siguiente, la tecnología de big data no está tan extendida como lo estaba hace unos años, especialmente en comparación con el desarrollo de la IA. Sin embargo, esto no implica que el big data no esté evolucionando. De hecho, el enfoque hacia el big data está cambiando significativamente. Anteriormente, los macrodatos eran vistos como un gran desafío; ahora, cada vez más, se consideran un estado deseable, particularmente en organizaciones que están explorando y ML y otras disciplinas relacionadas con la IA.

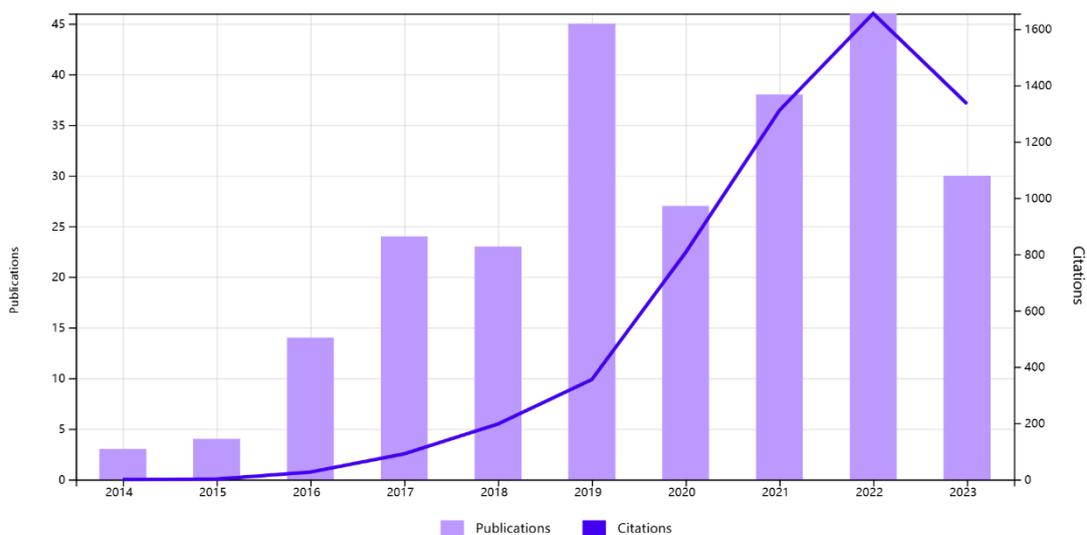


GRÁFICO 7 6.1 Evolución de la literatura sobre análisis de macrodatos

Fuente: Fuente: Elaboración propia



Este documento examina veinte artículos relevantes para extraer su metodología de investigación, áreas de aplicación y conclusiones principales, ofreciendo así una comprensión en profundidad de cada artículo. Se analiza qué métodos de análisis de big data fueron empleados y se clasifica la bibliografía según las diferentes áreas de aplicación del análisis de big data en la gestión de la calidad en ingeniería. Estas áreas incluyen, entre otras, la evaluación de riesgos de proyectos, el control de costos, la gestión de calendarios y la optimización de recursos. Cada uno de estos ámbitos ilustra cómo el big data puede ser aplicado en contextos específicos para mejorar la gestión de la calidad. Este enfoque proporciona ejemplos más intuitivos de la integración del análisis de big data con la gestión de la calidad en ingeniería, así como una justificación sólida para la investigación realizada.



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
1	High-dimensional data analytics in civil engineering: A review on matrix and tensor decomposition	Hadi Salehi a b, Alex Gorodetsky c, Roya Solhmirzaei a b, Pengcheng Jiao d	Engineering Applications of Artificial Intelligence Volume 125, October 2023, 106659	La investigación se centra en los métodos de descomposición matricial y tensorial.	Estos métodos se utilizan en diversas aplicaciones de ingeniería civil, entre ellas:	Se resumen los retos y las futuras líneas de investigación en el campo del análisis de datos de alta dimensión en ingeniería civil.	El estudio consistió en buscar y seleccionar artículos académicos en bases de datos como Web of Science, Science Direct, Scopus, Wiley Online Library, ASCE Library, Engineering Village, Sage, Emerald y otras.
				Se analizan técnicas específicas como la descomposición/factorización matricial y la descomposición tensorial, incluyendo los fundamentos, la notación, la descomposición CANDECOMP/PARAFAC y la descomposición de Tucker.	Descomposición/descomposición matricial: aplicada a la monitorización de la SHM, ingeniería sísmica y de terremotos, monitorización de pavimentos, tráfico y transporte urbano.		
					Descomposición tensorial: aplicada a la supervisión de la SHM, la evaluación de daños, la ingeniería sísmica y de terremotos, la supervisión de pavimentos, el tráfico y el transporte urbano.		
2	20 - Big data analysis for civil infrastructure sensing	Hae Young Noh 1, Jonathan Fagert 2	Sensor Technologies for Civil Infrastructures (Second Edition)	La atención prestada a las infraestructuras civiles pone de relieve la creciente complejidad e interdependencia de estos sistemas. Las infraestructuras modernas suelen estar equipadas con sensores para vigilar la salud de la estructura, lo que genera grandes cantidades de datos. Esta revolución de los datos está cambiando nuestra comprensión de las infraestructuras civiles y exige el uso de herramientas de análisis de big data y ML para la detección de infraestructuras.	La atención prestada a las infraestructuras civiles pone de relieve la creciente complejidad e interdependencia de estos sistemas. Las infraestructuras modernas suelen estar equipadas con sensores para controlar la salud de la estructura, lo que genera grandes cantidades de datos. Esta revolución de los datos está cambiando nuestra comprensión de las infraestructuras civiles y exige el uso de herramientas de análisis de big data y ML para inspeccionar las infraestructuras.	Detección de anomalías: Los primeros enfoques basados en datos en sistemas de infraestructuras civiles utilizaban series temporales de datos y algoritmos de detección de anomalías para detectar y localizar daños. Las técnicas incluyen el análisis secuencial y la comprobación de hipótesis, centrándose en las desviaciones de las condiciones estacionarias del sistema.	Extracción de características: Extrae información de la señal del sensor que es relevante para el resultado deseado (por ejemplo, daños estructurales). Esto incluye la frecuencia/amplitud de pico, la amplitud media, la desviación estándar, la correlación de la señal, etc.
			Volume 2: Applications in Structural Health Monitoring			Aprendizaje no supervisado: Métodos como la agrupación K-mean, los modelos de mezclas gaussianas, la agrupación jerárquica y el análisis de componentes principales se utilizan para agrupar los datos de los sensores en diferentes conglomerados, lo que puede ser útil en ausencia de datos etiquetados. Estos métodos suelen utilizarse para identificar daños en diversas estructuras.	Métodos de ML



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
			Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering			Aprendizaje supervisado: estos métodos incluyen modelos de clasificación y regresión y se utilizan ampliamente en la detección de infraestructuras civiles. Asignan los datos observados de los sensores a resultados conocidos, como niveles de daños o propiedades modales. Las técnicas incluyen la regresión logística, el análisis discriminante lineal/cuadrático, las máquinas de vectores de soporte, la clasificación del vecino más próximo a k, los modelos de regresión, la regresión no paramétrica y las técnicas de regularización.	
			2022, Pages 639-677			Aprendizaje profundo: las redes neuronales, como las y las redes neuronales recurrentes, se utilizan para el mapeo complejo de las relaciones entre datos. Son especialmente útiles cuando hay poca información a priori sobre el sistema estructural. El inconveniente es que estos modelos suelen requerir grandes conjuntos de datos para su entrenamiento y pueden ser difíciles de interpretar.	
3	Big data in civil engineering	Amir H. Alavi a, Amir H. Gandomi b	Automation in Construction	REVISIÓN DE LA LITERATURA: El artículo explora la aplicación de big data en ingeniería civil y su impacto en la resolución de problemas complejos de ingeniería mediante la revisión de diferentes casos de investigación. Este enfoque permite al artículo ofrecer una visión global de la aplicación de los macrodatos en la ingeniería civil.	Seguimiento y control del tráfico urbano	Los métodos de big data han mejorado eficazmente las capacidades analíticas y predictivas en el campo de la ingeniería civil.	Modelos bayesianos de mezcla
			Volume 79, July 2017, Pages 1-2	ANÁLISIS DE CASOS DE ESTUDIO: En el artículo se citan varios casos de investigación concretos, cada uno de los cuales aplica un enfoque de big data diferente para resolver un problema específico de ingeniería civil. Estos casos incluyen el uso de modelos de mezcla bayesiana para estimar los tiempos de viaje en segmentos de carreteras urbanas, el uso de datos de imágenes de drones para la detección y seguimiento de vehículos, y el uso de algoritmos de aproximación basados en	Operaciones aeroportuarias y previsión del tráfico aéreo	Combinando diferentes tecnologías y partes+F13+G13	Procesamiento de imágenes y algoritmos de ML



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
				datos para el diseño de estructuras civiles.			
				Exploración de aplicaciones tecnológicas: El artículo explora la aplicación de diversas tecnologías en ingeniería civil, como el uso de la tecnología de nubes de puntos para la monitorización de puentes de arco de piedra, y el uso de GA y optimización de enjambre de partículas para el análisis de redes de pavimento.	Diseño y control del estado de las estructuras civiles	La adopción de tecnologías de big data puede mejorar el funcionamiento y el mantenimiento de los sistemas de ingeniería civil.	Modelización de agentes basada en datos
				Métodos de análisis de datos: para cada caso, el artículo describe en detalle los métodos de análisis de datos utilizados, como algoritmos de ML, técnicas de procesamiento de imágenes, análisis de datos de redes inteligentes, etc.	Gestión energética para redes inteligentes	Es necesario seguir desarrollando y mejorando las herramientas y métodos de big data para ampliar su aplicación en la ingeniería civil.	Técnicas de nubes de puntos
				Evaluación exhaustiva y perspectivas: el artículo proporciona una evaluación exhaustiva de los métodos de big data existentes para aplicaciones de ingeniería civil, y ofrece perspectivas sobre futuras direcciones de investigación y posibles avances tecnológicos.	Análisis del rendimiento de edificios y control de proyectos		GA y optimización de enjambres de partículas
							Análisis de datos de redes inteligentes
							Big data visual e integración BIM
							Computación evolutiva y programación genética multiobjetivo
4	BIM-based big data analytic system for healthcare facility management	Gökhan Demirdöğena, Zeynep Işıka, Yusuf Arayıcıb	Journal of Building Engineering	Metodología de investigación en ciencias del diseño: Se utiliza para crear modelos, métodos e instancias innovadores para resolver problemas empresariales importantes. Implica la identificación del problema, la definición del objetivo, el diseño y el desarrollo, la demostración, la evaluación y la comunicación.	Diseñado para la gestión de organizaciones sanitarias, el sistema se centra en la gestión eficaz de las instalaciones, incluido el mantenimiento, la gestión de activos y la supervisión del rendimiento.	Integración eficaz de BIM y BDA: el estudio demostró que la combinación de BIM con análisis de macrodatos puede mejorar la gestión de las instalaciones sanitarias, especialmente en términos de mantenimiento y supervisión del rendimiento.	Base de datos NoSQL: para almacenar datos dinámicos, permitiendo la manipulación de datos sin necesidad de un esquema de datos predefinido, mejorando la escalabilidad y la flexibilidad.
			Volume 64, 1 April 2023, 105713	Desarrollo de un marco integrado: Proponer un marco para integrar bases de datos NoSQL y Big Data Analytics basado en BIM con el fin de proporcionar a las organizaciones		Practicidad y facilidad de uso: se comprobó que el sistema era práctico para las actividades de FM y que era necesaria cierta formación en	Dynamo Scripting: para controlar y modificar el BIM, permitiendo el procesamiento de información geométrica y semántica de modelos Revit sin necesidad de un modelo común de intercambio de datos.



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
				sanitarias herramientas de consulta de datos e indicadores clave de rendimiento para la gestión de instalaciones.		los pasos de transferencia de datos y análisis para definir los KPI de FM.	
				Demostración y pruebas: el sistema desarrollado se prueba mediante experimentos y simulaciones para demostrar su eficacia a la hora de resolver los problemas identificados. Esto implica una serie de pasos para permitir el análisis de los datos.		Mejor gestión de datos: la integración de BIM con scripts Dynamo y bases de datos MongoDB facilita una mejor gestión de los datos para un seguimiento y actualización eficientes de la información de las instalaciones.	Integración con Apache Hadoop: proporciona una plataforma distribuida de almacenamiento, análisis y orquestación de datos especialmente adecuada para trabajar con grandes cantidades de datos.
				Recuperación y análisis de datos: los datos se recuperaron del BIM mediante scripts de Dynamo y los datos dinámicos se almacenaron mediante MongoDB. A continuación, los datos se procesaron y analizaron mediante una interfaz de usuario desarrollada en Python, integrada con Apache Hadoop para manejar grandes cantidades de datos.		Procesamiento de datos en tiempo real: El sistema gestiona eficazmente los cambios de datos en tiempo real, que son fundamentales en un entorno dinámico de instalaciones sanitarias.	Interfaz de usuario basada en Python: para ejecutar consultas contra la base de datos y mostrar información de FM y resultados de KPI, adaptándose a diferentes volúmenes de datos.
				Evaluación: Realizada mediante pruebas de caja negra y comentarios de expertos. Se evaluó la eficacia, utilidad y usabilidad del sistema en la gestión de los KPI de FM y la integración de BIM con BDA.			
5	Towards big data driven construction industry	Fangyu Li a b c d, Yu anjun Laili e, Xuqian g Chen a b c d, Yihu ai Lou f, Chen Wang g, Hongyan Yang a b c d, Xuejin Gao a b c d, Honggui Han a b c d	Journal of Industrial Information Integration	INTRODUCCIÓN Y PANORAMA GENERAL: Este documento comienza con una introducción al mercado de Big Data y su creciente importancia en diversas industrias, incluida la de la construcción. Sienta las bases para una exploración detallada de los macrodatos en la construcción.	Centrándose en el sector de la construcción, este documento destaca cómo los macrodatos están transformando todos los aspectos del proceso de construcción, desde la planificación y la gestión hasta la ejecución y el mantenimiento.	Mejora de la eficiencia y reducción de costes: el uso de análisis de big data en la construcción puede reducir significativamente los costes de los proyectos y mejorar la eficiencia. La integración de tecnologías como BIM es particularmente impactante en este sentido.	Modelado y planificación de la construcción: utiliza BIM para la gestión integral de proyectos a lo largo de su ciclo de vida, integrando una variedad de tipos y fuentes de datos para unas fases de planificación, diseño, construcción y operaciones más eficientes.
			Volume 35, October 2023, 100483	ANÁLISIS DE BIG DATA: Este documento ofrece una exploración exhaustiva de los big data en la construcción, incluidos los datos generados durante el proceso de construcción, los enfoques y metodologías de big data, los beneficios y los retos. Proporciona información sobre el papel de los macrodatos en la mejora de la eficiencia de la construcción, la reducción de riesgos, la minimización de residuos y la mejora de las condiciones de trabajo.		Mejora de la comunicación y la productividad: las soluciones de big data promueven una mejor comunicación entre las cuadrillas y una mayor productividad en las obras y con la maquinaria.	Detección en obras de construcción: implica el uso de sensores IoT para la recopilación de datos multidimensionales en obras de construcción con el fin de mejorar la productividad, la sostenibilidad y la seguridad de los trabajadores. tecnologías como RFID y sensores vestibles contribuyen a mejorar el control de calidad y la gestión de la seguridad.



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
				REVISIÓN TECNOLÓGICA: Este documento revisa diversas técnicas y enfoques en el análisis de big data, incluidos el modelado de IA, la minería de datos y el ML, y sus aplicaciones en la construcción.		Mitigación de riesgos: la analítica de Big Data mejora la identificación y evaluación de riesgos, ayudando a reducir los riesgos comunes en los proyectos de construcción.	Ingeniería de Big Data: se centra en la construcción y almacenamiento de datos heterogéneos en streaming para su análisis. Esto incluye la captura, el procesamiento, el almacenamiento y la gestión de bases de datos.
						Reducción de residuos: el uso de herramientas analíticas alineadas con los conceptos de construcción ajustada ha reducido los residuos de materiales y el impacto medioambiental.	Big Data Analytics: utiliza métodos como la predicción, la clasificación, la agrupación y la inferencia. Estas técnicas se utilizan para la supervisión en tiempo real y el análisis de datos durante todo el proceso de construcción.
						Mejora de las condiciones de trabajo: los sensores portátiles y los equipos de construcción inteligentes ayudan a proporcionar unas condiciones de trabajo más seguras y productivas en las obras.	
6	Structural health monitoring of civil engineering structures by using the internet of things: A review	Mayank Mishra a, Paulo B. Lourenço b, G.V. Ramana c	Journal of Building Engineering	Este artículo analiza el paso de los enfoques tradicionales basados en cables a los sensores inalámbricos en tiempo real basados en el IoT. Hace hincapié en el uso de diversos tipos de sensores IoT, técnicas de ML y sistemas de almacenamiento de datos basados en la nube.	La SHM mediante IoT puede utilizarse para predecir el deterioro de las estructuras de mampostería, la predicción temprana de la resistencia a la compresión del hormigón, el control de calidad de las vibraciones y el mantenimiento, la detección de grietas y baches en edificios y carreteras, el diagnóstico de la corrosión y la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.	La SHM basada en IoT permite evaluar exhaustivamente el estado de las estructuras mediante datos de pruebas en tiempo real, lo que posibilita el mantenimiento predictivo y la detección temprana de daños. Esta tecnología es esencial para prolongar la vida útil de las estructuras de ingeniería civil y garantizar su seguridad y fiabilidad.	Avances en la monitorización del estado estructural de estructuras de ingeniería civil basada en IoT, sensores de IoT que recopilan diversos parámetros sobre edificios y estructuras, como temperatura, humedad, datos de imágenes de grietas y aceleración en tiempo real. Tecnologías de análisis de datos y ML: para procesar y analizar los datos de los sensores con el fin de identificar posibles problemas estructurales y necesidades de mantenimiento. Infraestructura en la nube: para almacenar y procesar grandes cantidades de datos de sensores, poniéndolos a disposición del análisis remoto y la supervisión en tiempo real. Procesamiento de datos en tiempo real: para obtener actualizaciones instantáneas sobre la salud de la estructura, mejorando la velocidad de predicción y respuesta.
			Volume 48, 1 May 2022, 103954				
7	Towards Civil Engineering 4.0: Concept, workflow, and application of Digital Twins for existing infrastructure	M. Pregnotato, S. Gunner, E. Voyagaki, R. De Risi, N. Carhart, G. Gavriel, P. Tully, T. Tryfonas, J. Macdonald, C. Taylor	Automation in Construction	En este artículo se describe un flujo de trabajo para el desarrollo del DT de activos existentes en el entorno construido, que consta de cinco pasos: adquisición de datos y requisitos, modelado digital, transferencia de datos de sensores, integración de datos/modelos y operaciones.	El DT se utiliza en el sector de AEC, sobre todo en la gestión de infraestructuras existentes, como el puente colgante de Clifton, en Bristol (Reino Unido). Este es un ejemplo de cómo puede utilizarse la DT para gestionar y supervisar infraestructuras heredadas.	El estudio concluye que los DT representan un avance significativo en la gestión de infraestructuras civiles. Permiten una gestión eficaz de los activos al integrar datos en tiempo real con modelos virtuales para mejorar los procesos de toma	Recopilación e integración de datos: recopilación de datos de estructuras del mundo real e integración de estos datos con modelos digitales. Modelización digital: Creación y actualización de copias virtuales de infraestructuras mediante plataformas informáticas avanzadas. Transferencia de datos de sensores: Utilizar los datos recogidos por los sensores para validar y actualizar los modelos digitales. Integración de



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
						de decisiones y la eficiencia operativa.	datos/modelos y API: Permite integrar a la perfección datos en tiempo real con modelos digitales e interoperabilidad mediante interfaces de programación avanzadas. Operaciones y apoyo a la toma de decisiones: Aprovechar los datos y modelos integrados para mejorar las decisiones de gestión de activos y aumentar la eficiencia operativa.
			Volume 141, September 2022, 104421				
8	Knowledge driven approach for smart bridge maintenance using big data mining	Yali Jiang a, Gang Yang a, Haijiang Li b, Tian Zhang a	Automation in Construction	La metodología de este estudio consistió en un análisis bibliográfico de las bases de datos de la Web of Science core collection, centrado en las técnicas inteligentes en el mantenimiento de puentes. Esto implicó un proceso de cuatro pasos de selección, filtrado y análisis de datos, considerando sólo artículos en lengua inglesa y artículos de revisión debido a su alta calidad y relevancia.	El estudio aborda el ámbito del mantenimiento de puentes, que es complejo y multidisciplinar, e implica aspectos de estructura, coste, salud y seguridad, sostenibilidad y cuestiones medioambientales. El estudio destaca la necesidad de adoptar tecnologías avanzadas de la información y la comunicación como IoT, computación en la nube, BIM, IA, RV, gemelos digitales y tecnologías de la web semántica para lograr un mantenimiento de puentes más inteligente y eficiente.	La revisión sugiere que los ingenieros de puentes deberían cambiar su mentalidad y pasar de un enfoque tradicional, pre-digital, basado en los datos, a un enfoque basado en el conocimiento. Este cambio es fundamental para comprender los datos y la información de múltiples fuentes, permitir el pensamiento sistémico y facilitar la toma de decisiones informadas y holísticas en el mantenimiento de puentes.	Tecnología de recopilación de datos: se utiliza tecnología avanzada para recopilar datos ricos que reflejen las condiciones de los puentes, y se desarrollan métodos analíticos para profundizar en los datos originales y extraer su significado.
			Volume 146, February 2023, 104673	En este trabajo, utilizamos técnicas bibliométricas como el análisis de la cantidad de documentos, el análisis de co-citación de revistas, el análisis de co-citación de documentos, la agrupación de palabras clave, el análisis de ráfagas, etc., y CiteSpace para mapear dominios de conocimiento y rastrear el desarrollo tecnológico		Identifica la necesidad de un enfoque basado en el conocimiento que utilice los macrodatos para tomar decisiones inteligentes sobre el mantenimiento de puentes. Esto implica armonizar y racionalizar diversas fuentes de datos para apoyar los nuevos avances en este campo.	Tecnología de extracción de datos e información: los datos de mantenimiento de puentes y los big data se caracterizan por su gran volumen, variedad, velocidad y baja densidad de valor. El estudio destaca la importancia de adoptar la analítica de big data para utilizar los datos en bruto
							Enfoque holístico de la toma de decisiones: este documento analiza la necesidad de un enfoque holístico de la toma de decisiones en el mantenimiento de puentes, que integre una variedad de información procedente de múltiples fuentes y partes interesadas a lo largo del ciclo de vida del puente.
9	18 - Deep learning and data analytics for assessing seismic performance of civil infrastructures1	Ruiyang Zhang 1, Hao Sun 2	Sensor Technologies for Civil Infrastructures (Second Edition)	DL en el análisis estructural: Este artículo analiza las limitaciones del método de elementos finitos (MEF) tradicional en el análisis no lineal de la evolución temporal de estructuras sometidas a cargas sísmicas. Destaca el coste computacional y los errores potenciales en el MEF debido a	Deep Learning in Structural Response Modelling: este trabajo se centra en la aplicación de la IA, en particular de técnicas de DL como las Support Vector Machines y las ANN, para la modelización de la respuesta dinámica de las estructuras ante la actividad sísmica.	Métodos avanzados de aprendizaje profundo: Este capítulo presenta métodos avanzados de aprendizaje profundo, como las redes de memoria larga a corto plazo (LSTM), las CNN guiadas físicamente (PhyCNN) y las redes LSTM múltiples informadas físicamente para la metamodelización de estructuras no	Redes LSTM apiladas: este artículo describe el uso de LSTM para modelizar dependencias de datos de largo alcance en datos secuenciales, como las series temporales de respuestas sísmicas.



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
				suposiciones e incertidumbres en los parámetros.		lineales en caso de desastres naturales. El objetivo de estos métodos es predecir respuestas no lineales y grandes deformaciones plásticas en infraestructuras civiles durante eventos sísmicos, integrando información física en redes neuronales profundas para mejorar el aprendizaje y la interpretabilidad.	
			Volume 1: Sensing Hardware and Data Collection Methods for Performance Assessment	RESUMEN DE TRABAJOS ANTERIORES: Este capítulo es una sinopsis de las últimas investigaciones de los autores en este campo, destacando la evolución y los avances en el uso de métodos de DL para el modelado y la predicción de la respuesta estructural.			CNN guiadas por la física: este enfoque consiste en integrar las leyes de control de la dinámica en la fase de entrenamiento de la CNN, lo que aumenta la robustez y fiabilidad del aprendizaje a partir de datos sísmicos.
			Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering				Redes LSTM múltiples basadas en principios físicos: este estudio propone un nuevo paradigma en el que se utilizan redes LSTM múltiples, basadas en principios físicos, para metamodelar sistemas estructurales. Este enfoque aborda el reto de predecir parámetros inobservables como los desplazamientos histeréticos en la modelización de la respuesta sísmica.
			2022, Pages 531-579				
10	Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study	Kevin K. Han a, Mani Golparvar-Fard b	Automation in Construction	Potential of Big Visual Data and BIM for Construction Performance Analytics: an Exploratory Study ("Potencial de los macrodatos visuales y el modelado de información de edificios para el análisis del rendimiento de la construcción: un estudio exploratorio"). Construction Performance Analytics: An Exploratory Study") explora la integración de Big Visual Data y BIM en el sector de la construcción. A continuación se resumen sus aspectos clave:	Entre sus aplicaciones se incluyen el seguimiento del progreso, la supervisión de la seguridad, la seguridad de las obras y la documentación de la obra. El estudio señala que los dispositivos equipados con cámaras, como teléfonos inteligentes, tabletas y vehículos sin conductor, se utilizan cada vez más para capturar imágenes y videos de las obras, lo que amplía enormemente la cantidad de imágenes digitales disponibles para la supervisión de la construcción.	El estudio destaca la madurez del BIM n-dimensional a la hora de proporcionar una visualización 3D mejorada e información semántica de los edificios en las obras. Sin embargo, el informe también señala que la mayor parte del trabajo para documentar el estado de construcción se ha centrado únicamente en recopilar datos visuales y actualizar el BIM, lo que deja un vacío en la utilización efectiva de estos datos.	Recogida sistemática de datos. Alineación con BIM Imágenes a intervalos Conjuntos de imágenes desordenadas Localización de agentes Captura de avances y desviaciones de estado Renderizado 4D realista con lapso de tiempo Documentación
			Volume 73, January 2017, Pages 184-198				
11	Predictive maintenance of pumps in civil infrastructure: State-of-the-art, challenges and future directions	Seyed Mostafa Hallaji, Yihai Fang, Brandon K. Winfrey	Automation in Construction	Revisión cuantitativa y cualitativa: El estudio utilizó un enfoque de métodos mixtos, combinando una revisión cuantitativa de la literatura para identificar temas clave de investigación y áreas de conocimiento, con una revisión cualitativa para evaluar el potencial de las tecnologías emergentes	Mantenimiento de bombas en diversas industrias: el estudio es relevante para industrias como las de tratamiento de aguas y aguas residuales, aviación, petroquímica, construcción (sistemas HVAC), minería y centrales nucleares, donde las bombas son fundamentales para las operaciones. El estudio destaca el	Importancia de la PdM: El estudio destaca el papel fundamental de la PdM, que utiliza análisis basados en datos para detectar anomalías y predecir futuros fallos como alternativa más eficaz a las estrategias de mantenimiento correctivo y preventivo. La PdM se	Gemelo digital (DT)



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
				para permitir la PdM en el mantenimiento de bombas.	importante consumo de energía y los costes de funcionamiento asociados a las bombas, especialmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales.	destaca por su potencial para reducir costes y mejorar la eficiencia operativa y la seguridad de las bombas.	
			Volume 134, February 2022, 104049				BIM
							ML y aprendizaje profundo
12	1 - Introduction to sensors and sensing systems for civil infrastructure monitoring and asset management	Jerome P. Lynch 1, Hoon Sohn 2, Ming L. Wang 3	Sensor Technologies for Civil Infrastructures (Second Edition)	Panorama histórico y estudios de casos: Este documento presenta un panorama histórico de las tecnologías de sensores y estudios de casos, trazando la evolución de los sensores y sistemas de detección en la vigilancia de infraestructuras civiles desde la década de 1940 hasta la actualidad.	Sistemas de infraestructuras civiles: este estudio destaca el papel fundamental de la tecnología de sensores en la vigilancia de diversos tipos de infraestructuras civiles (por ejemplo, puentes, carreteras, oleoductos, presas y redes eléctricas) para garantizar su seguridad y eficiencia.	Evolución de la tecnología de sensores: el documento esboza las tres fases principales de la adopción de la tecnología de sensores en las infraestructuras civiles en los últimos 70 años, centrándose en cómo pueden utilizarse los sensores para evaluar estructuras con conceptos de diseño revolucionarios, vigilar estructuras expuestas a cargas extremas y evaluar el estado estructural de los sistemas vigilados.	Sistemas físicos de información (SPI) y ML: el artículo analiza cómo los marcos de los SPI que utilizan recursos informáticos en la nube están transformando la vigilancia de las infraestructuras civiles. Destaca las aplicaciones del ML en el tratamiento automatizado de datos, incluidos los métodos de visión por ordenador para detectar el deterioro estructural y la clasificación de patrones para la detección de daños.
			Volume 1: Sensing Hardware and Data Collection Methods for Performance Assessment			Avances tecnológicos: los avances en los sistemas digitales de adquisición de datos, la introducción de sistemas microelectromecánicos (MEMS), sensores de fibra óptica, sensores inalámbricos, sensores piezoeléctricos de superficie, y la aparición de métodos de gestión de datos y de consulta de los datos basados en la salud han mejorado enormemente las capacidades de la monitorización de la SHM.	
			Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering			Integración con la informática y la computación en nube: la evolución reciente ha permitido que la SHM se beneficie de los avances de la informática, incluido el uso de la computación en nube y los algoritmos de ML para el procesamiento basado en datos y el conocimiento de la situación en tiempo real.	
			2022, Pages 3-17				



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
13	Advanced design, analysis, and implementation of pervasive and smart collaborative systems enabled with knowledge modelling and big data analytics	Amy J.C. Trappey (Guest Editors), Fredrik Elg h, Timo Hartmann, Anne James, Josip Stjepandic, Charles V. Trappey, Nel Wognum		Este número especial contiene una serie de artículos de investigación y reseñas que utilizan la modelización del conocimiento y el análisis de big data. Hace hincapié en la integración de estas técnicas en el diseño, el análisis y la implantación de sistemas colaborativos inteligentes y ubicuos.	Sistemas colaborativos a lo largo del ciclo de vida del producto: se centra en la aplicación de sistemas colaborativos inteligentes y ubicuos durante la fase de desarrollo del ciclo de vida del producto, incluidos el diseño, la fabricación, la gestión de la cadena de suministro, el mantenimiento y la prestación de servicios.	Sistemas colaborativos a lo largo del ciclo de vida del producto: se centra en la aplicación de sistemas colaborativos inteligentes y ubicuos durante la fase de desarrollo del ciclo de vida del producto, incluidos el diseño, la fabricación, la gestión de la cadena de suministro, el mantenimiento y la prestación de servicios.	Modelos de conocimiento y análisis de macrodatos: los artículos de este número especial abordan e integran modelos de conocimiento y sistemas de gestión y análisis de macrodatos generados a partir de diversos procesos en organizaciones, personas y dispositivos inteligentes.
			Advanced Engineering Informatics		Integración de IoT: este tema aborda la interconexión de componentes físicos, trabajos en curso, productos, maquinaria y equipos de apoyo conectados a Internet a través de redes de sensores ubicuas, lo que comúnmente se conoce como IoT.	Integración de IoT: este tema trata de la interconexión de componentes físicos, trabajos en curso, productos, maquinaria y equipos de apoyo conectados a Internet a través de redes ubicuas de sensores (comúnmente denominadas IoT).	
			Volume 33, August 2017, Pages 206-207				
14	Big Data in Building Energy Efficiency: Understanding of Big Data and Main Challenges	Natalija Koseleva, Gouda Ropaite	Procedia Engineering	Este documento utiliza una revisión bibliográfica y un análisis conceptual. Revisa el papel de los macrodatos en la eficiencia energética de los edificios, examina las formas en que pueden utilizarse en este ámbito e identifica los principales retos asociados a su uso.	Los macrodatos se utilizan en el sector de la construcción, sobre todo para mejorar la eficiencia energética. Consiste en recopilar y analizar datos sobre el uso de la energía en los edificios, utilizando técnicas como dispositivos de medición inteligentes y diversos métodos de análisis de datos.	El análisis de macrodatos es esencial para comprender el comportamiento individual en el consumo de energía y mejorar la eficiencia energética de los edificios. El estudio destaca que los macrodatos pueden contribuir significativamente a la eficiencia energética en el sector de la construcción.	En este artículo se analizan varios métodos de análisis de macrodatos aplicables al sector energético, como el análisis de texto, el análisis de audio, el análisis de vídeo, el análisis de redes sociales y el análisis predictivo. Estos métodos se utilizan para extraer información valiosa de grandes conjuntos de datos con el fin de apoyar la toma de decisiones y los esfuerzos de conservación de la energía.
			Volume 172, 2017, Pages 544-549				
15	Feedback on a shared big dataset for intelligent TBM Part II: Application and forward look		Underground Space	Este artículo ofrece una visión global centrada en la aplicación de métodos de ML en la construcción de tuneladoras para abordar diversos retos técnicos. Incorpora una amplia gama de estudios e investigaciones para proporcionar una comprensión holística de la situación actual y el potencial de la construcción inteligente de tuneladoras.	En este artículo se analizan varios escenarios de aplicación de las tuneladoras inteligentes, divididos en caracterización del macizo rocoso, predicción del rendimiento de la tuneladora, predicción de condiciones geológicas adversas y optimización de la eficiencia de la perforación.	La integración del ML y el big data ha mejorado significativamente la eficiencia de la predicción del rendimiento y la optimización de las tuneladoras. Este artículo demuestra con éxito la predicción del grado de la roca y los parámetros operativos de una tuneladora, como el empuje y el par, a partir de datos históricos. Destaca la importancia de comprender las complejidades que entraña la geología del emplazamiento, la especificación de la máquina y la gestión para un funcionamiento eficiente de la tuneladora.	Clasificación del macizo rocoso: se utilizan modelos de ML para predecir el tipo de macizo rocoso en función de diversos parámetros, como la velocidad de la fresa, el par, el empuje y la velocidad de avance. Esta clasificación ayuda a orientar la construcción de tuneladoras.



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
			Volume 11, August 2023, Pages 26-45				Predicción de condiciones geológicas desfavorables: aborda la predicción de riesgos geológicos como estallidos de rocas, derrumbes de túneles, erupciones de agua y bloqueo de tuneladoras, que son problemas importantes en la construcción de túneles.
							Optimización del rendimiento de las tuneladoras: se centra en el ajuste de los parámetros de las tuneladoras para optimizar su estado, la eficacia de la excavación y el coste. Para ello se utilizan métodos inteligentes de toma de decisiones y optimización multiobjetivo.
16	Understanding the adoption and usage of data analytics and simulation among building energy management professionals: A nationwide survey	Charu Srivastava, , Zheng Yang, Rishee K. Jain	Building and Environment	El estudio, una encuesta nacional a 448 profesionales de la gestión energética de edificios en Estados Unidos, se diseñó para conocer la adopción, el uso, los obstáculos y las oportunidades de mejora del análisis de datos y la simulación en la gestión energética de edificios.	El análisis de datos y la modelización son esenciales para comprender y mejorar el uso de la energía en los edificios y contribuyen de forma significativa a alcanzar los objetivos de eficiencia energética y sostenibilidad. Se utilizan para analizar los datos de los edificios, modelizar su termodinámica y evaluar el impacto de los cambios de diseño y funcionamiento en el consumo de energía.	El estudio muestra que las áreas de especialización han tenido un impacto significativo en la adopción y el uso del análisis de datos y la modelización. Estas herramientas se utilizan sobre todo en fases similares de la toma de decisiones, lo que sugiere un potencial de uso integrado. Las principales conclusiones son la necesidad de mejorar la precisión de las herramientas de análisis de datos y modelización y la necesidad de mejorar la formación profesional, especialmente en modelización.	Análisis de datos: se utiliza para análisis cualitativos y estadísticos y es especialmente eficaz en la identificación de problemas, la generación de propuestas y la recopilación de información. Es menos útil para validar propuestas y mejorar el conocimiento de la situación.
			Volume 157, 15 June 2019, Pages 139-164				Simulación: se utiliza para crear componentes de construcción virtuales y comparar alternativas de diseño. Es importante para recopilar información, mejorar el conocimiento de la situación y proporcionar información para la toma de decisiones. Sin embargo, es menos útil en la fase de evaluación de la toma de decisiones.



	Título del Artículo	nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Metodología de la investigación	Ámbitos de aplicación	Principales resultados	Utilización
17	ICT for resource management and telematics in construction sites	Wojciech Czart a, , , Henryk Gierszal aK arina Pawlina bMari a Urbańska c	Procedia Engineering	Este artículo describe una solución de colaboración y gestión de recursos en línea para obras de construcción, que utiliza el marco de Google Apps para el tratamiento de datos, la comunicación, el procesamiento de flujos de trabajo y la gestión de recursos.	Flujo de datos y comunicación en las obras	En este artículo se describen la aplicación y las ventajas de utilizar G Suite de Google y las tecnologías IoT para una gestión eficiente de los recursos y la comunicación en el entorno de una obra de construcción. Destaca la importancia de un entorno de software integrado para mejorar la colaboración en equipo, el análisis de datos y la gestión del flujo de trabajo en los proyectos de construcción.	Entorno de Colaboración Integrado ICE: basado en el software G Suite, permite la colaboración a distancia entre equipos virtuales para mejorar el rendimiento de los equipos mediante la mejora del intercambio de información y los procesos.
			Volume 208, 2017, Pages 27-34				Gestión de recursos: El marco facilita la gestión de obras de construcción, coordinando diversas tareas y entregas en función de limitaciones técnicas y calendarios.
							Comunicación y coordinación: Este documento destaca la importancia de la comunicación en la gestión de procesos que requieren la coordinación entre múltiples personas, ubicaciones y vehículos. Introduce el concepto de IoT para mejorar las tareas de supervisión y control mediante sensores y recogida de datos.

TABLA 4 6.1Aplicación de Big Data Analytics en la gestión de la calidad de la ingeniería

6.2 Conceptos básicos de Big Data y Data Analytics

6.2.1 Conceptos básicos de Big Data

Según Wikipedia, "Big Data" se refiere a una colección de datos que, debido a su volumen, complejidad y velocidad de crecimiento, no puede ser capturada, gestionada ni procesada eficientemente mediante herramientas de software convencionales durante un período prolongado de tiempo (Wikipedia, 2012). Como lo indica Louis (2020), el término "big data" se utiliza para describir conjuntos de datos a gran escala que han sido almacenados y gestionados para su análisis, superando las capacidades del software tradicional. Los big data, por tanto, son más que simples volúmenes de datos a gran escala; su verdadero valor radica no solo en la capacidad de almacenar y analizar grandes cantidades de datos, sino más importante aún, en la habilidad para manejar de manera eficiente estos datos significativos. Es decir, el valor estratégico de la tecnología de big data se centra en mejorar el procesamiento de datos y en extraer valor a través de su análisis. Las aplicaciones de big data pueden dividirse en dos áreas principales: la personalización efectiva y la capacidad de realizar predicciones precisas.

6.2.2 Características que poseen los Big Data

Victor Mayer Schönberg y Kenneth Kukier, en su obra "The Age of Big Data", definen a Big Data como el uso de todos los datos disponibles sin recurrir a atajos como el análisis estocástico (muestreo). Sus principales características se resumen en las "5 Vs":

Volumen: Big Data se caracteriza por abarcar una gran cantidad de datos, que continúa en aumento. Esta característica es prominente en varios campos, como en las ventas, con el crecimiento de los datos de transacciones, o en la investigación científica, donde instrumentos como los colisionadores de partículas generan enormes volúmenes de datos. La escala de estos datos excede la capacidad de procesamiento de los sistemas de bases de datos tradicionales.

Velocidad: Se refiere a la rapidez con la que se generan y acumulan los datos, permitiendo la formación de vastos conjuntos de datos en poco tiempo. Esta velocidad implica también un cambio constante en el contenido de los datos debido a la integración de nuevos conjuntos, revisión de datos existentes y la recepción de información de múltiples fuentes.

Variedad: La variedad de datos hace referencia a los numerosos formatos y tipos de datos que deben manejar las soluciones de Big Data. Esto incluye datos estructurados, no estructurados y semiestructurados de diversas fuentes y en distintos formatos.

Veracidad: Se refiere a la calidad y exactitud de los datos. Esto incluye la diferencia entre



información y ruido en los datos; el ruido son datos sin valor, mientras que la señal tiene valor y es información significativa. Datos con alta relación señal/ruido son más precisos que aquellos con baja relación.

Valor: El valor de los datos se refleja en su capacidad para generar información útil para empresas o instituciones. Las características de valor están relacionadas con la precisión; a mayor calidad de los datos, mayor es su valor. Además, la calidad de los datos está relacionada con el tiempo, ya que el valor disminuye conforme se retrasa la disponibilidad de los datos. Por ejemplo, en la negociación de acciones, una cotización comunicada con un retraso de media hora es casi sin valor en comparación con una cotización proporcionada un segundo antes.

6.2.3 Análisis de Big Data

El análisis de Big Data se refiere al proceso de examinar datos a gran escala para extraer información útil y utilizarla eficazmente, revelando el valor profundo de los datos y proporcionando un beneficio máximo a empresas o usuarios. Dadas las características de Big Data, es esencial contar con un conjunto de métodos de análisis de datos y herramientas confiables para llevar a cabo el análisis efectivamente. Con el análisis de Big Data, es posible organizar y clasificar adecuadamente la gran escala de datos para generar informes de análisis valiosos que se pueden aplicar en diversos campos para fomentar su desarrollo.

Los cinco aspectos básicos de la analítica de Big Data son:

- Visualizaciones analíticas

Para expertos en análisis de datos y usuarios comunes, la visualización de datos es fundamental. La visualización permite presentar los datos de manera intuitiva, permitiendo que 'hablen por sí mismos', y facilitando así la comprensión de los resultados por el público..

- Algoritmos de minería de datos

Mientras que la visualización es para las personas, la minería de datos es para las máquinas. Algoritmos como la agrupación, la segmentación y el análisis de puntos aislados nos permiten profundizar en los datos y extraer su valor. Estos algoritmos manejan no solo el volumen de Big Data, sino también la velocidad con la que se pueden procesar.

- Capacidad de análisis predictivo

La minería de datos permite a los analistas comprender mejor los datos, y la analítica predictiva posibilita hacer juicios predictivos basados en los resultados de la analítica visual y la minería de datos.

- Motores semánticos

La diversidad de datos no estructurados presenta desafíos únicos en el análisis de datos. Necesitamos una serie de herramientas para analizar y extraer información de forma inteligente de



"documentos" no estructurados.

- Calidad de datos y gestión de datos maestros

Mantener una alta calidad y gestión eficiente de los datos es una práctica de gestión esencial. Procesar los datos a través de procesos y herramientas estandarizados asegura la alta calidad predefinida de los resultados analíticos.

6.3 Aplicación del análisis de big data en la gestión de calidad de proyectos de ingeniería civil

Victor Mayer Schönberg ha dicho que la era de los Big Data es 'el futuro que ya ha sucedido'. Con el desarrollo continuo de la sociedad de la información, muchos campos, incluida la industria de la construcción, están inundados de datos masivos. Al extraer, analizar y procesar estos datos con técnicas adecuadas, se pueden obtener beneficios considerables para las empresas. En la industria de la construcción, que maneja una gran cantidad de datos y tiene una amplia escala de negocios, entender el valor de los Big Data y utilizarlos eficazmente para gestionar la obra se ha convertido en un punto crítico que las empresas necesitan abordar con urgencia. Mediante el uso adecuado de la tecnología de análisis de Big Data, la industria de la construcción puede mejorar la eficiencia, reducir costos y predecir y resolver problemas potenciales.

En diferentes etapas de los proyectos de ingeniería civil, el análisis de Big Data se aplica a múltiples aspectos de la gestión de calidad. Para organizar esto de acuerdo con el tiempo y las etapas del proyecto, se introduce la aplicación del análisis de Big Data en la gestión de calidad de la ingeniería civil.

6.3.1 Fase de planificación del proyecto

En la fase preliminar de los proyectos de ingeniería civil, comprender la demanda actual del mercado y las tendencias de desarrollo es fundamental. La analítica de Big Data puede ser una herramienta invaluable para los planificadores de proyectos de construcción, ya que les ayuda a entender mejor el entorno y las condiciones del mercado en el lugar del proyecto. Mediante el análisis de grandes volúmenes de datos socioeconómicos y tendencias de flujo poblacional, es posible obtener información más precisa sobre la demanda del mercado y perfiles de usuario, lo que facilita la selección de proyectos. Esto ayuda a los equipos de proyecto a tomar decisiones de diseño y planificación estratégica más informadas.

La analítica de Big Data también es crucial en la etapa de planificación de proyectos de construcción. El análisis de datos históricos facilita la predicción y optimización de costes, tiempo y recursos para futuros proyectos. Esta técnica permite extraer información valiosa de grandes volúmenes de datos históricos, esencial para comprender las tendencias y patrones en la gestión

de calidad. Con estos análisis, se pueden aplicar lecciones y éxitos de proyectos pasados al diseño y gestión de proyectos actuales, mejorando así su calidad. Además, la evaluación de problemas de calidad en proyectos anteriores ayuda a identificar desafíos comunes y éxitos, lo que posibilita la creación de planes de proyecto más eficientes y la minimización de riesgos, cumpliendo con las demandas del mercado y las expectativas de los usuarios.

6.3.2 Fase de gestión de la construcción

Desde la perspectiva de las causas que originan problemas de calidad en la construcción, los principales factores que afectan a la calidad de la construcción incluyen la mano de obra, la maquinaria, los materiales, los métodos y el medio ambiente. En el proceso de gestión de la calidad de la construcción, es necesario realizar un análisis exhaustivo de estos cinco factores, más allá de la mera inspección de calidad según los procedimientos establecidos. Esto implica comprender con precisión las causas de los problemas de calidad, proponer soluciones y métodos más efectivos y permitir a los tomadores de decisiones una comprensión macro de la situación de la calidad de la región de ingeniería, identificando las debilidades en el control de calidad.

Además, basándose en la acumulación de una gran cantidad de datos de calidad en ingeniería, se puede establecer un modelo de índice de reputación de calidad para los participantes en el proyecto, desarrollar un sistema de compilación y publicación de índices de calidad, y así proporcionar apoyo a la elección de socios y a la supervisión de la calidad del proyecto por parte de los tomadores de decisiones y el público.

Para lograr esto, es necesario recopilar y organizar una amplia gama de datos relevantes en el proceso de gestión de la construcción. Esto incluye enfocarse en el análisis y la clasificación resumida de los datos del proceso de construcción, como los registros de formación técnica y profesional de los operarios, los registros de premios y sanciones por calidad, los registros del sistema de responsabilidad de los operarios de maquinaria, los registros de comprobación y funcionamiento de maquinaria y equipos, los registros de comprobación y aceptación de materiales, y otros datos relacionados. Estos datos provienen principalmente de registros del proceso y diarios de cada eslabón clave del proceso de construcción.

El enfoque específico consiste en utilizar métodos y medios de Big Data para registrar y recopilar continuamente estos datos de calidad, extraer los factores clave que contribuyen a la gestión de la calidad, y analizar la integridad de la gestión de la calidad de los sujetos participantes.

La aplicación específica tiene los siguientes aspectos:

- Mejorar la eficiencia de la ingeniería

Durante la fase de gestión de la construcción de edificios, el análisis de Big Data desempeña un papel crucial en la mejora de la eficiencia y la calidad del proyecto. La seguridad, el avance y la



calidad de la obra se pueden monitorear y analizar en tiempo real, utilizando los datos masivos recopilados por sensores y equipos de supervisión. Gracias al análisis de Big Data, los equipos de construcción pueden identificar y abordar rápidamente problemas potenciales, reducir errores derivados de la intervención manual y mejorar la eficiencia general del proyecto, lo que a su vez asegura la calidad de la construcción.

- Proporcionar apoyo a la toma de decisiones

La analítica de Big Data ofrece un soporte significativo en la toma de decisiones en tiempo real para los responsables de la construcción. Esta tecnología es capaz de analizar y extraer de forma científica y razonable los datos relevantes de la gestión práctica, proporcionando así una base más sólida para las decisiones en la gestión de proyectos de ingeniería. Esto asegura que tanto la gestión del proyecto como la toma de decisiones sean más precisas y fundamentadas.

El análisis de datos en tiempo real de grandes proyectos de construcción permite predecir y optimizar la asignación de trabajadores y equipos mecánicos, desplegando recursos con anticipación para evitar cuellos de botella y retrasos en el proceso de construcción. En la práctica, los datos obtenidos de inspecciones de calidad y la finalización de obras pueden ser registrados y analizados en tiempo real utilizando tecnologías modernas y aplicaciones de Big Data.

La idea principal es la siguiente: cuando surja un problema de calidad en la construcción, se debe registrar y describir el problema a tiempo en el sistema de Big Data. A medida que se acumulan datos sobre problemas de calidad, estos pueden ser clasificados y resumidos según las profesiones y contenidos implicados. Las conclusiones extraídas de este análisis pueden servir como una referencia importante y una base para la toma de decisiones, permitiendo a los gestores de proyectos mejorar la calidad en la construcción de ingeniería.

- Establecer una plataforma de servicios de big data en la nube

La creación de una plataforma de servicios de Big Data en la nube para proyectos de construcción inteligentes elimina los silos de información y forma una plataforma unificada de intercambio de datos. Esta permite la integración de los datos de gestión de empresas, entidades gubernamentales y otras unidades supervisoras. En la plataforma, se establecen puntos de control de calidad y el sistema captura automáticamente datos de indicadores técnicos para supervisar aspectos técnicos de la construcción.

Esta herramienta permite enfocar la tecnología y la supervisión en procesos o etapas de construcción con altos requisitos técnicos o dificultades significativas, controlando aspectos como mano de obra, materiales, equipos y tecnologías de construcción. Se formulan medidas preventivas para problemas comunes o procesos propensos a producir resultados no cualificados. También se analizan nuevos procesos, materiales y tecnologías para verificar si cumplen con los requisitos de construcción. Mediante el análisis de los datos de los indicadores técnicos, se logra una supervisión informada de la calidad del proyecto.



En la práctica de gestión de ingeniería, la calidad y el nivel del personal de gestión influyen en la calidad y eficiencia de la gestión del proyecto. Prácticas inadecuadas por parte del personal pueden impactar negativamente en estos aspectos. Con la base de datos, se registra eficazmente al personal, clasificando y archivando la información, lo que permite a los gerentes comprender el estado de trabajo de los empleados en cualquier momento. El sistema analiza automáticamente los datos relevantes, como los tipos de trabajo por turno, la duración de la jornada laboral y las horas trabajadas en cada fase del proyecto. Además, el análisis de datos sobre horas extraordinarias, operaciones peligrosas y otras emergencias, y la detección de anomalías, permiten que el sistema envíe alertas y avisos automáticos para evitar la fatiga en la construcción, salvaguardando y mejorando la seguridad de los trabajadores y del proyecto.

6.3.3 Control preciso de los costes de inversión en ingeniería

La tecnología de Big Data juega un papel fundamental en la aplicación y aprendizaje de datos relevantes en la gestión de proyectos de ingeniería. Cuando la información y los datos pertinentes a la gestión de ingeniería se almacenan en sistemas de Big Data, esta tecnología puede realizar análisis de aprendizaje sobre parámetros y características relevantes de los datos. En casos donde existen datos similares o relacionados en la base de datos, la tecnología de Big Data puede efectuar actividades de análisis y procesamiento utilizando los parámetros y características aprendidos de los datos. Esto permite que los costes de gestión de proyectos se reduzcan de manera razonable y eficiente.

6.3.4 Aplicación combinada con otras tecnologías

Durante el desarrollo de proyectos, han surgido diversas tecnologías innovadoras. La tecnología de Big Data, en particular, tiene el potencial de integrarse orgánicamente con varias ciencias y tecnologías, como la tecnología de la nube y la inteligencia artificial. Esta combinación puede potenciar el uso de Big Data en la gestión de tareas prácticas, mostrando así sus ventajas y su relevancia en aplicaciones prácticas.

6.3.5 Control de calidad y mantenimiento

En el ámbito del control de calidad y mantenimiento de proyectos de construcción, el análisis de Big Data puede ofrecer soluciones efectivas. Mediante el análisis de datos provenientes de sensores, la integridad estructural de los edificios puede ser monitoreada en tiempo real. Esto permite la detección anticipada de posibles problemas estructurales, facilitando así la realización de mantenimientos y reparaciones oportunas.



Además, el análisis de Big Data puede ser utilizado para predecir y optimizar el mantenimiento de equipos y sistemas en los edificios. El análisis de datos operativos de los equipos permite predecir posibles fallos y estimar su momento de ocurrencia, lo que facilita la realización de mantenimientos y reemplazos antes de que estos fallos afecten el funcionamiento normal del edificio.

Los gestores también pueden utilizar diversos tipos de gráficos para obtener una visión más intuitiva de la calidad de la construcción del proyecto completo y del progreso en la rectificación de problemas. Por ejemplo, mediante gráficos se puede analizar la calidad de la construcción en un período específico, identificar si ha habido un aumento en los problemas de calidad, qué problemas se han resuelto, cuáles están en proceso de rectificación, cuáles requieren aceptación, así como determinar qué subcontratistas están más implicados en problemas de calidad y la proporción de problemas de calidad en distintas especialidades del proyecto.

6.4 Problemas y retos de la analítica de big data en la gestión de la calidad de la ingeniería

La implementación de la analítica de Big Data en la gestión de calidad en proyectos de ingeniería civil conlleva una serie de problemas y desafíos que pueden afectar su efectividad y utilidad. A continuación, se presentan algunos de los obstáculos y retos más significativos:

6.4.1 Calidad y precisión de los datos

La calidad y precisión de los datos son fundamentales para el éxito del análisis de Big Data. Si los datos iniciales contienen errores, valores faltantes o ruido, los resultados del análisis pueden ser inexactos. Incluso un solo dato erróneo en el proceso puede llevar a la generación de resultados impredecibles, afectando negativamente la toma de decisiones en la gestión de calidad del proyecto. Además, identificar y corregir el origen del error puede suponer una significativa pérdida de tiempo y recursos.

El entorno del mercado y las condiciones que enfrentan los proyectos son complejos, con muchos factores incontrolables. Esto significa que la gestión de calidad en ingeniería se enfrenta a una gran cantidad de información y elementos perturbadores. En el contexto de un creciente número de proyectos de construcción, estos factores perturbadores pueden volverse cada vez más complejos y producir una gran cantidad de datos erróneos. La tecnología de Big Data no siempre es capaz de filtrar qué datos pueden ser erróneos, lo que puede llevar a un sesgo en el análisis y la minería de datos de proyectos de ingeniería. Esto resulta en que los datos relevantes puedan carecer de representatividad y autenticidad, causando efectos adversos en la eficiencia y calidad de la construcción de proyectos de ingeniería.

6.4.2 Adquisición e integración de datos

Dado que los sistemas de información existentes no siempre son completos ni potentes, muchos de los datos necesarios provienen de sistemas externos. Esta necesidad de integración entre plataformas puede dificultar la adquisición e integración de datos de múltiples fuentes, llevando a incompatibilidades de sistemas y dificultades en la transmisión y adquisición de datos. Esto puede impedir que la gestión de calidad del proyecto reciba el soporte adecuado. Además, diferentes fuentes de datos pueden tener diversos formatos y estándares, lo que requiere un esfuerzo considerable para limpiar, convertir e integrar estos datos.

A pesar de estos desafíos, hay empresas en la industria que han implementado prácticas exitosas que pueden servir de referencia. En términos de recopilación de datos, la tecnología IoT puede facilitar la adquisición automatizada de datos más allá de lo que es posible con métodos tradicionales. Respecto a la integración de datos, es necesario establecer un sistema a nivel de plataforma que permita integrar y agregar datos de manera eficaz. La aplicación de estos datos se puede categorizar en tres niveles: el nivel de proyecto, el nivel de empresa y el nivel de industria. Mediante una plataforma unificada, se facilita la integración de datos en todos los niveles, sentando una base sólida para la posterior aplicación de los datos.

La minería de Big Data debe vincularse estrechamente con el modo y proceso de gestión. Por ejemplo, los datos pueden analizarse tras la licitación para detectar posibles colusiones, utilizando un rango amplio de datos para asegurar resultados objetivos y precisos. Esto requiere la construcción de una plataforma global de sistema de información que integre datos de todas las etapas del proyecto, incluyendo planificación, construcción y aceptación. La gestión unificada y centralizada de estos datos, así como el análisis y la minería en tiempo real, permiten que cada unidad y departamento accedan a los datos que necesitan en cualquier momento, mejorando la eficiencia en la gestión de calidad del proyecto.

6.4.3 Requisitos técnicos y de competencias

El análisis de Big Data generalmente requiere de tecnología especializada y competencias específicas. En el sector de la ingeniería civil, puede haber una carencia de personal técnico y recursos necesarios para llevar a cabo un análisis de Big Data eficaz. Aunque la tecnología de Big Data es un componente crucial en el campo de la tecnología de la información en Internet, presenta un umbral elevado en términos de habilidades y conocimientos requeridos.

Además, existen normas más estrictas y exigencias más altas en cuanto al nivel de conocimiento del personal involucrado. Una comprensión incompleta de la tecnología por parte del personal relevante puede impedir que la tecnología despliegue completamente su función y papel en la práctica de la gestión de proyectos de ingeniería. Dado que la gestión de proyectos de



ingeniería se enfrenta a un desarrollo especial y a una gran cantidad de información y datos, y la tecnología de análisis de Big Data está en constante evolución, el nivel actual de conocimientos del personal técnico relevante puede no ser suficiente para adaptarse a las crecientes necesidades de procesamiento de datos en la gestión de proyectos. Esto puede resultar en que la eficiencia y calidad de la gestión de proyectos de ingeniería no alcance las mejoras esperadas.

6.4.4 Seguridad de datos y privacidad

En la era de la tecnología de la información, los datos no son solo cadenas de números, sino también propiedades privadas de individuos y organizaciones. La seguridad y la privacidad de los datos son consideraciones críticas en el análisis de Big Data, especialmente en lo que respecta a datos personales o sensibles. En la gestión de la calidad de la ingeniería civil, se manejan datos de múltiples partes, incluyendo información de proveedores, contratistas, equipos de ingeniería y clientes. Durante el almacenamiento y la transmisión de datos, es fundamental utilizar cifrados robustos para protegerlos, evitando así fugas de datos y accesos no autorizados. Además, dado que pueden existir diferentes leyes y regulaciones de protección de datos en distintos países y regiones, es importante conocer y cumplir con estas normativas para asegurar la legalidad del tratamiento de los datos.

Es esencial preparar un plan de contingencia para violaciones de datos, que permita responder rápida y eficientemente en caso de una brecha, incluyendo la notificación a las partes afectadas, la reparación de las brechas de seguridad y el restablecimiento de la seguridad de los datos. Para prevenir problemas de seguridad de datos, es necesario proporcionar formación a los equipos sobre seguridad de datos y protección de la privacidad, aumentando la conciencia sobre los riesgos y reduciendo los errores humanos y negligencias.

6.4.5 Recursos y costes

El análisis de Big Data puede requerir una inversión significativa en recursos y costes, incluyendo hardware, software y personal especializado. En proyectos con recursos limitados, estos costes pueden superar los beneficios potenciales, por lo que la implementación de analíticas de Big Data en tales proyectos puede presentar un desafío considerable.

6.4.6 Retos de los análisis en tiempo real

En el contexto actual de los sistemas de gestión de calidad en proyectos, la limitada tecnología y los recursos de información impiden el acceso completo a datos en tiempo real, como inspecciones de calidad, información previa a la construcción y datos sobre tecnología, mano de obra y materiales.



Esta falta de acceso y actualización de datos relevantes dificulta la realización de análisis y minería de datos efectivos, limitando la capacidad para tomar decisiones fundamentadas en la gestión de calidad del proyecto y su desarrollo futuro.

6.4.7 La finalidad de la minería de información de la tecnología de big data no es sólida

La tecnología de Big Data aún se encuentra en una etapa temprana de desarrollo. Debido a ciertas limitaciones técnicas, la minería de información con esta tecnología a menudo carece de objetivos claros. En la gestión de proyectos de ingeniería, particularmente para datos e información complejos y voluminosos, la tecnología aún no es capaz de realizar un análisis profundo y eficiente. Esto impide que se demuestren plenamente las ventajas del análisis y la minería de Big Data, limitando su aplicación práctica en la gestión de proyectos de ingeniería.

6.4.8 La información de integración de la tecnología Big Data está por detrás de las necesidades de gestión de proyectos

En la gestión de proyectos de ingeniería, las decisiones deben basarse en datos relevantes y sus resultados de análisis. La tecnología actual de Big Data no logra analizar en profundidad y extraer la compleja y vasta cantidad de información y datos en la gestión de proyectos de ingeniería. La información y los datos que esta tecnología puede integrar quedan rezagados respecto a las necesidades reales de la gestión de proyectos. Generalmente, las actividades de procesamiento y extracción de Big Data se realizan en función de las necesidades de toma de decisiones en la gestión de proyectos, en lugar de que la gestión y las decisiones se basen en el procesamiento y extracción de Big Data. Este retraso en el procesamiento de la información y los datos relacionados con la gestión de proyectos de ingeniería impide una gestión y toma de decisiones oportunas y precisas, afectando negativamente la naturaleza científica y la exactitud de la gestión de proyectos.

7. Integración de la IA y el Big Data Analytics en la Gestión de la Calidad.

7.1 Colaboración y conflicto en la literatura

Este trabajo extrae la metodología de investigación, las áreas de aplicación y las conclusiones principales del artículo mediante una comprensión profunda del material relevante. De esta manera, se logra reflejar de forma más intuitiva los ejemplos de integración de la analítica de Big Data y la IA en la gestión de calidad en ingeniería, así como sus fundamentos de investigación:

- Sinergia de tecnologías.

La bibliografía seleccionada destaca la sinergia entre la IA y el Big Data en la gestión de la



calidad. Por ejemplo, las capacidades de reconocimiento de patrones y predicción de la IA, combinadas con las capacidades de procesamiento y análisis de información de Big Data, pueden mejorar la eficiencia y precisión en la supervisión de proyectos, la evaluación de riesgos y la toma de decisiones.

- Perspectivas de desarrollo futuro.

La bibliografía ofrece diferentes perspectivas sobre la futura integración de la IA y el Big Data en la gestión de la calidad. Algunos estudios muestran optimismo en que la eficacia de esta integración continuará mejorando a medida que la tecnología avanza. Otros, sin embargo, sugieren una evaluación y planificación más detalladas antes de su implementación.



Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Métodos de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
		Volume 86, Part A, October 2023, 104250		IA y gestión sostenible de los recursos naturales.		La popularidad del ML ha aumentado desde 2017, lo que indica su creciente aceptación y aplicación en la GRN.
				Big data, IoT y gestión de recursos naturales.		Temas como "gestión sostenible de los recursos naturales" y "tecnología" han surgido como temas centrales en la literatura.
				Series temporales, cartografía, optimización, K-Means y eficiencia energética.		El potencial del ML y la IA para el modelado predictivo en diversos aspectos de la GRN, como la mitigación del peligro de erosión, el uso excesivo de las aguas subterráneas y la gestión del hundimiento de tierras.
						La importancia de los enfoques interdisciplinarios e intersectoriales en la GRN, utilizando métodos basados en datos para obtener resultados más eficaces.
						Las conclusiones ponen de relieve la importancia de los avances tecnológicos en la gestión de los recursos naturales y el potencial de la IA y los macrodatos para configurar las futuras estrategias de GRN.
3	An innovative decision making method for air quality monitoring based on big data-assisted artificial intelligence technique	Journal of Innovation & Knowledge	El estudio integra big data e IA para la vigilancia de la protección del medio ambiente.	La aplicación de los macrodatos y la IA en la gobernanza medioambiental para apoyar la gobernanza pública y la toma de decisiones en la vigilancia del medio ambiente.	El modelo ICEEMDAN-WOA-ELM supera significativamente a un único modelo de IA en la predicción de la calidad del aire, mostrando una gran precisión incluso en condiciones meteorológicas muy contaminadas.	Este artículo destaca el papel clave de los macrodatos en la mejora de la alerta temprana ecológica, la vigilancia del medio ambiente y la gobernanza.
	Leiming Fu a #, Junliang Li b #Yifei Chen c d	Volume 8, Issue 2, April-June 2023, 100294	Propone un modelo combinado de previsión de la calidad del aire basado en ML denominado Modelo de Descomposición Modal Empírica Mejorado Completamente Integrado basado en Algoritmo de Optimización de Ballenas Ruidosas Adaptativo - Máquina de Aprendizaje Extremo (ICEEMDAN-WOA-ELM).	La aplicación de estas tecnologías ha mejorado enormemente la eficiencia de la gobernanza medioambiental y ha abordado los retos de la vigilancia de la calidad del aire.	Este estudio pone de manifiesto las limitaciones de los algoritmos de IA individuales en la predicción de la calidad del aire y las ventajas del modelo combinado propuesto.	El ML y el DL mejoran la toma de decisiones, la predicción y la evaluación de la calidad del aire.
			Además, se desarrolló un modelo basado en DL denominado Meteorología de Tipo Temporal y Espacial para predecir la calidad del aire.	Se han desarrollado modelos para analizar datos meteorológicos e integrar la protección del medio ambiente con la civilización ecológica.	Las tecnologías de big data e IA desempeñan un papel clave en la resolución de graves problemas medioambientales, especialmente en la gestión de la calidad del aire.	Estas tecnologías ayudan a centralizar los datos descentralizados y mejoran el intercambio de datos y la transparencia.
			El estudio validó experimentalmente estos modelos, demostrando su eficacia en la predicción de la calidad del aire en	Pueden analizar las causas profundas de los problemas ambientales e		El futuro de la protección y la vigilancia del medio ambiente pasa por el desarrollo y la



	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Métodos de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
				comparación con los modelos de IA individuales.	integrar indicadores ambientales e información sobre emisiones.		integración continuos de las tecnologías de IA y big data.
4	Methods and applications for Artificial Intelligence, Big Data, Internet of Things, and Blockchain in smart energy management		Energy and AI Volume 11, January 2023, 100208	La metodología de investigación adoptada en este trabajo incluye principalmente la revisión bibliográfica y el análisis de patentes. La revisión bibliográfica abarca cuatro áreas estrechamente relacionadas con la gestión inteligente de la energía: IA, big data, IoT y blockchain.	IA y Big Data en la gestión de la energía:	La integración de IA, BD, IoT y Blockchain en SEM representa un gran paso hacia una gestión energética más eficiente y sostenible. El desarrollo continuo y la integración de estas tecnologías, así como la adaptación de la minería de datos y las infraestructuras digitales, son cruciales para el futuro de la gestión inteligente de la energía.	
					La IA se utiliza para predecir la producción y la demanda de energía, optimizar las operaciones de almacenamiento de energía, detectar el robo de energía, el mantenimiento predictivo y el control, así como para predecir los precios de la energía y los fenómenos meteorológicos relacionados con la energía.		
					El entrenamiento de modelos de IA requiere grandes cantidades de datos, por lo que la tecnología de BD es fundamental.		
					Entre los retos que plantea el uso de la IA se encuentran la seguridad de los datos, la comprensión de los principios de la IA, la ciberseguridad, la adaptación de los sistemas existentes y la cuantificación de los beneficios económicos de la IA.		
					Integración de tecnologías digitales:		
					La integración de tecnologías digitales avanzadas, como IoT y blockchain, es fundamental para mejorar el SEM.		
					Las plataformas IoT, compuestas por capas de borde, niebla y nube, ayudan a la IA a conectarse con otros sistemas de hardware y software y mejoran la transferencia y el almacenamiento de datos para la minería de datos.		



	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Métodos de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
					Blockchain y las criptomonedas pueden facilitar el comercio de energía y complementar el almacenamiento de datos en plataformas IoT.		
					Investigación y desarrollo de SEM:		
					La transición a un sector energético con bajas emisiones de carbono requiere la integración de IA, BD y tecnologías digitales avanzadas.		
					Estas tecnologías son cada vez más importantes en el sector de las energías renovables y requieren investigación y desarrollo continuos en múltiples áreas de ingeniería.		
5	Exploring artificial intelligence and big data scholarship in information systems: A citation, bibliographic coupling, and co-word analysis	Rahul Dwivedi a, , Sridhar Nerur bVenu gopal Balijepally c	International Journal of Information Management Data Insights	Análisis de citas: este método suele utilizarse para analizar la colaboración entre artículos académicos o autores y puede identificar referencias o autores importantes.	Esta investigación se centra en la IA y la investigación de big data dentro del campo de los sistemas de información.	El estudio constata un cambio gradual en el interés académico, que pasa de centrarse en la IA específica de un dominio problemático (por ejemplo, análisis predictivo, algoritmos de ML y minería de textos) a la IA específica de una organización (por ejemplo, capacidades de big data, rendimiento corporativo, agilidad y estrategia).	Este estudio demuestra cómo el Big Data y la IA se complementan para hacer avanzar la investigación en sistemas de información.
			Volume 3, Issue 2, November 2023, 100185	Acoplamiento bibliográfico: este método identifica similitudes entre dos artículos mediante el análisis de la literatura que citan conjuntamente. Este método ayuda a identificar diferentes grupos temáticos dentro de un área de investigación.	Se centra en las disciplinas de referencia en la investigación analítica empresarial, el análisis de citas cruzadas, la identificación de temas subyacentes en el acoplamiento bibliográfico, el análisis terminológico y el análisis de co-ocurrencia de palabras clave. .	El documento también analiza los datos de citas para identificar a los autores (citados), artículos (citados), revistas, instituciones y disciplinas más influyentes.	Los macrodatos proporcionan el soporte de datos necesario para la IA, lo que permite entrenar y optimizar eficazmente los modelos de IA.
				Análisis de co-palabras: esta técnica cuantitativa tiene en cuenta la co-ocurrencia de palabras clave y se utiliza para identificar grupos de palabras clave relacionadas, revelando así relaciones complejas entre subdisciplinas científicas y siguiendo su desarrollo.			Combinando big data e IA, pueden lograrse predicciones más precisas y una toma de decisiones más eficiente en ámbitos como las industrias financiera y automovilística.



	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Métodos de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
6	Holistic big data integrated artificial intelligent modeling to improve privacy and security in data management of smart cities	Jie Chen a, , L. Ram anathan bMamoun Alazab a b c	Microprocessors and Microsystems	Resumen de la investigación: describe el desarrollo de las tecnologías de las ciudades inteligentes y el uso de las tecnologías de la información y la comunicación y el IoT en las ciudades inteligentes.	Gestión de datos para ciudades inteligentes: abarca las ciudades inteligentes	Eficacia de HBDIAIM: el marco HBDIAIM propuesto mejora eficazmente la seguridad y la privacidad de la interfaz de gestión de datos de las ciudades inteligentes mediante algoritmos evolutivos diferenciales y esquemas de privacidad para la toma de decisiones asistida por análisis de big data.	Mejora de la privacidad y la seguridad: al combinar big data e IA, HBDIAIM es capaz de mejorar eficazmente la privacidad y la seguridad de las interfaces de gestión de datos en aplicaciones de ciudades inteligentes.
			Volume 81, March 2021, 103722	Trabajos relacionados: revisa los trabajos de investigación relacionados, incluidas las cuestiones de privacidad, seguridad, confidencialidad y autenticidad en las ciudades inteligentes.	Seguridad y privacidad: se centra en la seguridad, privacidad y confidencialidad de las interfaces de gestión de datos de las ciudades inteligentes, con el objetivo de prevenir la ciberdelincuencia y los ataques malintencionados.	Rendimiento y escalabilidad: el análisis de simulación demuestra la fiabilidad de HBDIAIM en términos de seguridad, precisión, rendimiento y escalabilidad.	Mejora de la escalabilidad y usabilidad de la información: mediante el uso de algoritmos evolutivos diferenciales y análisis de big data, se optimiza la escalabilidad y usabilidad de la información en las interfaces de gestión de datos.
				Holistic Big Data Integrated Artificial Intelligent Modelling: propone un nuevo modelo para mejorar la privacidad y la seguridad de las interfaces de gestión de datos en las ciudades inteligentes.			Mejora de la capacidad de gestión de datos en las ciudades inteligentes: mediante el uso de técnicas innovadoras, se mejora la eficiencia y la seguridad del procesamiento de datos en las ciudades inteligentes.
				Modelización matemática: uso de algoritmos evolutivos diferenciales y analítica de big data para ayudar en la toma de decisiones en escenarios de privacidad.			
				Resultados y discusión: el marco propuesto se simula y analiza para verificar su fiabilidad en términos de seguridad, precisión, rendimiento y escalabilidad.			
				Conclusión: se resumen las principales conclusiones del estudio y la orientación del trabajo futuro.			
7	Analysis and prediction of industrial energy consumption behavior based on big data and artificial intelligence	Qiong Wu a, , , , H ongbo Ren aShanshan Shi bChen Fang b Sha Wan bQifen Li a	Energy Reports	Enfoque del algoritmo CH-K-means para el análisis del comportamiento en el uso de la energía: este enfoque implica la recogida de datos brutos, el preprocesamiento de datos y el análisis de conglomerados CH-K-means. En la etapa de procesamiento de datos, incluye la identificación de singularidades de datos, la reparación y la normalización multidimensional de datos.	Análisis del comportamiento energético industrial: Este trabajo se centra en el comportamiento del consumo energético en las empresas industriales, en concreto en los datos de carga de vapor de 38 usuarios de un parque industrial de Shanghai.	Reducción de los errores de datos mediante el principio 3o: Reducción de los errores de datos causados por singularidades mediante la identificación de grandes cantidades de datos y la recuperación de datos de días similares para que las características de los datos agrupados se aproximen más a la situación real.	Mediante la combinación de Big Data e IA, este estudio logró una alta precisión y eficiencia en el análisis y la predicción del consumo de energía industrial. El análisis de Big Data se utiliza para comprender y clasificar el comportamiento de consumo de energía de los diferentes usuarios, mientras que las redes LSTM se utilizan para predecir la demanda futura de energía, cuya combinación hace que la gestión de la energía sea más precisa y eficiente.
			Volume 9, Supplement 3, May 2023, Pages 395-402	Enfoque de predicción de la carga basado en la LSTM: consiste en la predicción de la carga de energía utilizando la estructura de red LSTM, lo que implica el procesamiento del conjunto de datos y el establecimiento de hiperparámetros.		Tres tipos de análisis de conglomerados: se utiliza la metodología CH-K-means para realizar conglomerados por tipo de usuario, conglomerados por fluctuación de carga y conglomerados por días típicos para comprender mejor las características del consumo de energía entre los usuarios, especialmente la importante reducción de la carga de vapor durante las vacaciones.	



	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Métodos de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
						El acoplamiento de la temperatura ambiente con los datos históricos mejora la precisión de la predicción: La combinación de la temperatura ambiente da como resultado una mayor precisión de la predicción que el uso directo de los datos históricos.	
8	Big data and artificial intelligence based early risk warning system of fire hazard for smart cities	Yongchang Zhang a, , Panpan Geng aC. B. Sivaparthipan bBala Anand Muthu c	Sustainable Energy Technologies and Assessments	Modelos predictivos propuestos: incluye dispositivos de IoT, unidad de microcontrolador Arduino, receptores de datos, descripciones de conjuntos de datos, servidores en la nube y clasificadores predictivos.	Smart City Fire Hazard Early Warning System: se centra en la predicción de valores de riesgo de incendio a partir de big data recopilados en ciudades inteligentes.	Alto rendimiento del modelo de predicción: el modelo propuesto obtiene mejores resultados en términos de exactitud, precisión, recuperación y puntuación F-1 en comparación con otras técnicas existentes.	Mediante la combinación de big data e IA, este estudio logra una detección y predicción de incendios eficiente en un sistema de alerta de incendios de una ciudad inteligente.
			Volume 45, June 2021, 100986	Deep Belief Network y Recursive Long Short-Term Memory Neural Network (R-LSTM-NN): para procesar y predecir los big data recopilados.		Alta precisión en la detección de incendios: el modelo propuesto detecta focos de incendio con una precisión del 98,4% y una tasa de error de sólo el 0,14%.	El uso de una combinación de redes de confianza profunda y redes neuronales recursivas de memoria a largo y corto plazo mejora el procesamiento y el análisis de grandes cantidades de datos, lo que se traduce en una predicción de incendios más precisa y oportuna.
				Métricas de rendimiento: para evaluar el rendimiento de los modelos predictivos.		Amplia aplicabilidad en ciudades inteligentes: el modelo propuesto puede utilizarse para diversos problemas de predicción a los que se enfrentan las ciudades inteligentes.	
	A review of the applications of artificial intelligence and big data to buildings for energy-efficiency and a comfortable indoor living environment	Muhammad Uzair Mehmood a, , Daye Chun bZeshan aHyunjoo Han cGyuyeob Jeon cKuan Chen d	Energy and Buildings	Con un enfoque global, este artículo analiza cómo pueden aplicarse la IA y la BD al diseño, el funcionamiento y el mantenimiento energéticamente eficientes de los edificios. Se centra en el uso del ML y las grandes bases de datos para alcanzar estos objetivos.	Diseño de edificios energéticamente eficientes: investigación de la aplicación de IA y BD al diseño de edificios energéticamente eficientes	Aplicación integrada de IA y Big Data: la combinación de IA y BD puede mejorar significativamente la eficiencia energética de los edificios y el confort de los ambientes interiores.	Este artículo destaca el importante papel de la IA y la BD en la mejora de la eficiencia energética y el confort de los ocupantes de los edificios. Destaca los avances recientes y las posibles direcciones futuras para el uso de estas tecnologías en edificios sostenibles.
9			Volume 202, 1 November 2019, 109383		Predicción y reducción del consumo energético en edificios: utiliza el marco ML para estudiar el impacto de variables como la superficie de las paredes y la superficie acristalada en las cargas de calefacción y refrigeración de edificios residenciales.	Precisión del ML en la predicción del consumo energético: el ML se utiliza para estimar la calefacción de los edificios.	



	Nombre del artículo	Nombre del autor	Fecha y lugar de publicación	Métodos de investigación	Campo de aplicación	Principales resultados	Métodos de utilización
					<p>Utilización de la energía solar: analiza el uso de la energía solar para iluminación y calefacción en edificios y como única fuente de energía para la tecnología fotovoltaica y la generación de energía solar térmica.</p>	<p>Aplicación diversificada de la energía solar en los edificios: la aplicación de la energía solar no se limita a la iluminación y la calefacción de los edificios, sino que también incluye la generación de electricidad, que es importante para mejorar la eficiencia energética de los edificios</p>	

TABLA 5 7.1Aplicación de Big Data Analytics e IA en la Gestión de la Calidad en Ingeniería



7.2 Sinergias entre IA y Big Data Analytics

7.2.1 Cómo se adapta la IA al Big Data

Big Data y la IA mantienen una relación simbiótica: mientras que la IA se enriquece y evoluciona a partir del éxito de Big Data, al mismo tiempo hace posible para las organizaciones explotar sus enormes almacenes de datos de maneras que antes eran demasiado complejas o inviables.

7.2.2 Cómo utiliza la IA los macrodatos

Los retos asociados con el almacenamiento y otros aspectos de Big Data y su análisis han evolucionado. Por ejemplo, la combinación de Big Data e IA plantea nuevos requerimientos (o intensifica los existentes) relacionados con la infraestructura, la preparación de datos y la gobernanza. En algunos casos, la IA y las tecnologías de ML se convierten en una parte esencial de cómo las organizaciones abordan estas complejidades operativas.

7.2.3 Cómo funcionan los macrodatos con la IA

Generamos cantidades exponenciales de datos cada día, y el ser humano por sí solo no es capaz de procesar esta enorme cantidad de información para extraer conclusiones significativas. Por eso, los científicos han desarrollado algoritmos de IA para analizar estas vastas cargas de datos y extraer información útil del aparente caos. Estos algoritmos están diseñados para imitar el proceso de pensamiento humano.

En la actualidad, la mayoría de los datos se generan a partir de fuentes en línea. A través de Internet, es posible comprender las necesidades, deseos y comportamientos de los consumidores. Esto se puede deducir de los contenidos que comparten, las páginas que les gustan, los comentarios que dejan, las opiniones que emiten, los programas en los que se inscriben y los sitios que visitan. Desafortunadamente, es inviable estudiar las necesidades de cada cliente individualmente. Aquí es donde la IA desempeña un papel crucial, analizando datos de múltiples fuentes para crear una imagen precisa de lo que buscan los clientes. La IA y el Big Data se han vuelto interdependientes, ya que uno no puede funcionar eficientemente sin el otro.

7.3 Ventajas y retos potenciales de la integración en la gestión de la calidad de la ingeniería civil



7.3.1 Ventajas de la integración de IA y Big Data Analytics

Las secciones anteriores han discutido las ventajas de aplicar Big Data e IA de manera individual en la gestión de calidad de la ingeniería civil. Integrar estas dos tecnologías puede potenciar aún más el valor de los datos para lograr inteligencia, optimización y mejora continua en la gestión de calidad, mejorando así la calidad y el éxito del proyecto. La integración de IA y Big Data Analytics ofrece mayores beneficios y valor que sus aplicaciones por separado. Estos son algunos de los beneficios clave de esta integración:

- Capacidades complementarias:

Las capacidades complementarias de la IA y la analítica de Big Data son fundamentales para su eficacia en conjunto. Los macrodatos ofrecen una rica fuente de datos, mientras que la IA proporciona las herramientas necesarias para su análisis y aprendizaje. En el proceso de desarrollo del ML, se dedica aproximadamente el 80% del tiempo de investigación y desarrollo a la preparación de datos. La calidad de estos datos es crucial para determinar la efectividad del modelo de Big Data, lo que resalta la importancia del procesamiento y análisis de datos.

Big Data, como parte de la infraestructura de IA, suministra datos de entrenamiento y entrada en tiempo real, permitiendo así a la IA ahorrar tiempo en la preparación de datos durante su desarrollo. Por otro lado, la IA contribuye a la gestión de calidad proporcionando capacidades de predicción, optimización y soporte en la toma de decisiones. Esto se logra a través del aprendizaje y análisis de los datos, mejorando significativamente la eficiencia y precisión en la gestión de calidad.

- Analítica más avanzada en ingeniería civil.

En el ámbito de la ingeniería civil, la analítica de Big Data tradicionalmente se ha centrado en proporcionar información descriptiva e inferencial, tales como el seguimiento del progreso del proyecto y la utilización de recursos. Sin embargo, la integración de la IA en estos procesos enriquece la analítica con capacidades predictivas y prescriptivas. Esta evolución permite, por ejemplo, mejorar la eficiencia de los proyectos mediante la predicción de impactos meteorológicos y la optimización en la asignación de recursos.

Al combinar Big Data e IA, se puede acceder a una comprensión más profunda y detallada a partir de los vastos conjuntos de datos de proyectos. Esta sinergia entre ambas tecnologías facilita un soporte más efectivo en el proceso de toma de decisiones relacionadas con la gestión y el control de calidad de los proyectos. De esta forma, se puede lograr una gestión de proyectos más informada y proactiva, mejorando significativamente tanto la eficiencia operativa como la calidad de los resultados en proyectos de ingeniería civil.

- Información y ajustes en tiempo real en la gestión de proyectos.

La integración de IA y análisis de Big Data facilita la recopilación y análisis en tiempo real de los datos de calidad en proyectos de ingeniería civil. Esto permite a los equipos de proyecto entender



el estado del proyecto en tiempo real y abordar oportunamente los problemas de calidad, posibilitando ajustes y retroalimentación instantáneos en la gestión de la calidad del proyecto. Por ejemplo, la IA puede realizar evaluaciones de riesgo y formular medidas de mitigación para segmentos específicos de la construcción en cuestión de minutos, mejorando considerablemente la seguridad en el sitio de construcción.

- Combinación de automatización y optimización en la gestión de la calidad.

Las capacidades de automatización de la IA pueden ser utilizadas en ingeniería civil para supervisar y verificar automáticamente la calidad del trabajo. Simultáneamente, el análisis de Big Data ayuda a optimizar los procesos y la asignación de recursos en los proyectos de construcción. Esta combinación permite una gestión de la calidad más automatizada y optimizada, incrementando la eficiencia y efectividad. Por ejemplo, la IA y Big Data pueden automatizar tareas repetitivas, liberando al equipo de ingeniería para concentrarse en tareas más críticas y así mejorar la eficiencia general del proyecto.

- Descubrimiento de conocimientos y mejora de la entrega en la gestión de la calidad.

Utilizando una combinación de IA y Big Data, se pueden descubrir conocimientos importantes y lecciones aprendidas sobre la gestión de calidad a partir de grandes volúmenes de datos de ingeniería. Los sistemas de aprendizaje y recomendación de IA permiten que este conocimiento sea entregado y aplicado de manera más efectiva en todos los aspectos del proyecto, apoyando una mejora continua en la gestión de calidad.

- Mayor precisión predictiva.

El uso aislado de análisis de Big Data o IA puede enfrentar limitaciones en predecir problemas de calidad en la ingeniería. Sin embargo, integrando ambas tecnologías, se mejoran la precisión predictiva y la gestión preventiva de calidad. En la etapa de planificación de un proyecto, la combinación de Big Data e IA es crucial para identificar riesgos potenciales y optimizar la adquisición de materiales y procesos constructivos.

- Mayores capacidades de integración y coordinación.

La fusión de IA y Big Data mejora notablemente la gestión de calidad en ingeniería civil, facilitando la integración y coordinación con otros sistemas de gestión como la cadena de suministro y la gestión de proyectos. Esta integración permite un manejo más eficaz de los datos, resultando en mayor eficiencia y calidad en los proyectos.

- Ventaja Competitiva a Largo Plazo:

Un sistema de gestión de calidad que integra IA y análisis de Big Data establece una ventaja competitiva sostenible, fomentando una cultura de calidad y mejora continua. Esta plataforma incrementa el intercambio de conocimientos y la comunicación entre equipos y proyectos, mejorando la eficiencia operativa y el éxito de los proyectos en toda la organización.



7.3.2 Desafíos de la IA y la Analítica de Big Data en la Gestión de la Ingeniería Civil

A pesar de los beneficios significativos de integrar IA y Big Data en la gestión de calidad en ingeniería civil, existen desafíos cruciales que abordar, incluyendo la calidad de los datos, la seguridad de la información, y limitaciones tecnológicas y de conocimiento. Estos desafíos específicos abarcan:

- Calidad y precisión de los datos

Los proyectos de ingeniería civil, que son intrínsecamente complejos y multifacéticos, generan enormes volúmenes de datos, incluyendo datos de diseño, construcción e inspección. Sin embargo, dada su magnitud, la calidad y precisión de estos datos no siempre pueden garantizarse, lo que podría llevar a errores o inconsistencias. Estos problemas pueden afectar negativamente la eficacia de la IA y el análisis de Big Data. Abordar este desafío puede requerir inversión significativa en limpieza y validación de datos para asegurar su calidad y exactitud.

- seguridad y privacidad de los datos:

La seguridad y la privacidad de los datos son consideraciones importantes con la implementación de tecnologías de Big Data, especialmente en la ingeniería civil. Es esencial proteger adecuadamente todos los datos recopilados por el sistema y asegurarse de que solo sean accesibles para usuarios autorizados. Esto es particularmente crítico cuando se manejan datos que contienen información personal o sensible.

Los datos deben ser 'limpiados' de cualquier información personal para evitar riesgos. Aunque la recopilación de datos en sí no es problemática, se entra en un territorio peligroso cuando los datos pueden identificar a individuos específicos. Por lo tanto, es crucial cumplir con leyes y normativas estrictas para proteger la seguridad y privacidad de los datos. Adherirse a estas regulaciones puede incrementar la complejidad y los costos del proyecto y limitar el uso y la compartición de datos.

- Falta de competencias y conocimientos:

Captar talento capacitado es un reto clave. La IA, el ML y los Big Data no son conceptos completamente nuevos, pero existe un número limitado de personas calificadas para recopilar, programar y aplicar estos conocimientos, quienes además deben poseer conocimientos específicos en ingeniería civil. Para superar este desafío, podría ser necesario formar al personal, desarrollar tecnológicamente y fomentar la colaboración.

- Integración y compatibilidad de sistemas:

Aunque la IA y el análisis de Big Data presentan sinergias en su aplicación, son dos tecnologías distintas y pueden surgir problemas de integración y compatibilidad de sistemas al combinarlas. Los diferentes sistemas y plataformas pueden tener formatos de datos e interfaces variados, y estas cuestiones técnicas deben resolverse para lograr una integración efectiva, lo cual

podría aumentar la complejidad y los costos del proyecto.

- Limitaciones de recursos y costes:

El uso independiente de IA y análisis de Big Data ya requiere significativos recursos y costes. La integración de ambas tecnologías puede necesitar aún más inversiones, incluyendo hardware, software y recursos humanos. Con recursos y presupuestos limitados, esta integración puede ser desafiante, lo que potencialmente limita la viabilidad y efectividad del proyecto.

- Restricciones legales y reglamentarias:

En algunas regiones y países, pueden existir leyes y normativas que limiten la aplicación e integración de las tecnologías de IA y Big Data. Por ejemplo, puede haber regulaciones específicas relacionadas con la recopilación, almacenamiento y uso de datos. Estas restricciones pueden limitar la viabilidad y efectividad del proyecto.

8. Estudio de casos.

Este capítulo profundiza y valida las teorías y conceptos presentados en los capítulos previos de este documento, a través de un estudio de caso específico: el HZMB. Este puente, uno de los nuevos hitos de China, ha sido reconocido por el periódico británico The Guardian como una de las "Siete Maravillas del Mundo Moderno". Según la Agencia de Noticias Xinhua, el HZMB representa la "velocidad china" en la construcción marítima, estableciendo un récord mundial en ingeniería al completar dos islas artificiales en 221 días. Esto no solo acortó el período de construcción en más de dos años, sino que también demostró la eficacia de la construcción ecológica. El proyecto ha sido descrito como el más grande y desafiante en su clase, tanto en China como a nivel mundial, a menudo comparado con el 'Monte Everest' en el sector de puentes.

En este capítulo, el puente Hong Kong-Zhuhai-Macao se utiliza como un caso práctico para reflejar la aplicación combinada de la IA y el análisis de Big Data. Este estudio de caso demuestra de manera específica cómo la IA y el análisis de Big Data se aplican en la gestión práctica de la calidad, ofreciendo una visión integral de su impacto en la gestión de la calidad en la ingeniería civil. Además, ilustra los efectos prácticos y los desafíos de estas tecnologías, identificando los problemas y limitaciones que pueden surgir durante su implementación.

A través de este estudio de caso, se extraen lecciones y estrategias prácticas para guiar a los profesionales de la ingeniería civil en el uso eficaz de estas tecnologías. Las conclusiones del estudio también apuntan a futuras posibilidades y áreas de investigación en el uso de la IA y la Big Data en la gestión de calidad en ingeniería civil. En las siguientes secciones, se detalla el estudio de caso y se discuten sus contribuciones e implicaciones para esta investigación.

8.1 Antecedentes del proyecto



El HZMB representa un monumental enlace marítimo que conecta la isla Lantau de Hong Kong con Macao y Zhuhai, en la provincia de Guangdong. Forma parte de la autopista G94 Pearl River Delta Ring Road Expressway, integrándose en la red nacional de autopistas de China. Iniciado el 15 de diciembre de 2009 y completado el 23 de mayo de 2018, el HZMB fue abierto al tráfico el 24 de octubre de 2018 a las 9 de la mañana, con una vida útil prevista de 120 años. Actualmente, es el túnel tubular sumergido más largo del mundo y la autopista combinada puente-túnel más extensa sobre el mar. Con una longitud total de 55 kilómetros, incluye un puente principal de aproximadamente 29,6 kilómetros y una estructura combinada de puente y túnel que consta de dos túneles sumergidos de 6,7 km y 5 km, respectivamente, y tres islas artificiales.

Este proyecto superlativo se caracteriza por su enfoque en la digitalización, desde la percepción de la información hasta la evaluación estructural, la toma de decisiones de mantenimiento, la gestión del tráfico y el control de seguridad. Se han incorporado tecnologías avanzadas como IoT, Big Data e Inteligencia Artificial, estableciendo estándares de datos para puentes digitales y un sistema de metodología técnica. Se ha construido una plataforma inteligente de operación y mantenimiento, con el objetivo de crear un puente digital de primera categoría. Este enfoque integral busca elevar el nivel de operación y mantenimiento inteligente del HZMB, reducir los costes de mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida, prolongar la duración del puente y proporcionar un soporte técnico sólido para su uso y gestión efectivos.

Los estándares de datos de operación y mantenimiento inteligente y el sistema de metodología técnica desarrollados por este proyecto ofrecen directrices para la construcción digital y la operación inteligente de infraestructuras de transporte, liderando la innovación en este campo. A través de su aplicación y promoción en el HZMB, el proyecto no solo beneficia la interconexión de infraestructuras y la mejora de la tecnología de operación y mantenimiento en la Gran Área de la Bahía, sino que también apoya el desarrollo económico y la construcción en la región de Guangdong, Hong Kong y Macao.

Se ha finalizado la planificación del "Sistema Estándar de Datos de Operación y Mantenimiento Inteligente del HZMB", que incluye 33 estándares en cuatro categorías y se incorporará a los estándares del Área de la Bahía como uno de los tres principales proyectos modelo. La cobertura total del puente con la red 5G, el proyecto de servicio de plataforma en la nube integrada, y el desarrollo de equipos de detección y mantenimiento, sistemas de gestión de activos y emergencias, y la integración de plataformas de sistemas, se han completado con éxito, marcando avances significativos en las tareas principales del proyecto.

8.2 Metodología de la investigación

La metodología adoptada para la investigación sobre la aplicación de IA y análisis de Big Data en el proyecto del HZMB incluye varias estrategias para recopilar una amplia gama de información relevante. Los pasos clave de esta metodología son:

Revisión de Literatura Técnica y Reportes: Se lleva a cabo una búsqueda exhaustiva de literatura técnica e informes que detallen las tecnologías avanzadas y los sistemas de monitoreo utilizados en la construcción del HZMB. Esto incluye documentos técnicos, estudios de ingeniería, y análisis de los sistemas implementados en el proyecto.

Documentos Oficiales del Gobierno y Gestores del Proyecto: Se consulta una variedad de documentos oficiales publicados por el gobierno y las unidades de gestión del puente. Esto proporciona información autorizada sobre los datos de construcción, operación y mantenimiento del HZMB, así como sobre las políticas y directrices seguidas durante su desarrollo.

Artículos Académicos y Ponencias de Conferencias: Se analizan artículos académicos y presentaciones de conferencias para acceder a los últimos hallazgos de investigación relacionados con la IA y el análisis de Big Data en el contexto del proyecto del puente. Esto incluye estudios publicados en revistas de ingeniería civil, conferencias de tecnología y simposios sobre infraestructura.

Estudios de Caso y Cobertura Mediática: Se recopilan y examinan estudios de caso y reportajes de los medios de comunicación sobre las aplicaciones tecnológicas del HZMB. Esto proporciona perspectivas adicionales y evaluaciones públicas que complementan los datos técnicos y oficiales.

Análisis y Síntesis de Datos: Todos los datos recopilados se analizan y sintetizan para comprender la integración y la sinergia entre la IA y el análisis de Big Data en la gestión de calidad de la ingeniería civil en el HZMB. Se identifican patrones, tendencias y resultados clave que demuestran el impacto y los desafíos de estas tecnologías en el proyecto.

Evaluación Crítica: Finalmente, se realiza una evaluación crítica de todos los hallazgos para identificar las implicaciones prácticas, los beneficios alcanzados, los desafíos enfrentados y las posibles áreas de mejora o futuras investigaciones relacionadas con la aplicación de IA y Big Data en proyectos de ingeniería civil a gran escala como el HZMB.

8.3 Aplicaciones técnicas

- Sistema de vigilancia y evaluación de la seguridad sísmica HZMB.

El Sistema de Vigilancia y Evaluación de la Seguridad Sísmica del HZMB es una infraestructura tecnológicamente avanzada, que cumple varias funciones críticas para garantizar la seguridad y estabilidad del puente en situaciones sísmicas. Este sistema se compone de cuatro partes principales:



- Vigilancia de Vibraciones:

Se caracteriza por su funcionamiento autónomo y su capacidad para formar una red.

Capaz de transmitir datos en tiempo real y almacenarlos para análisis futuros.

Proporciona una supervisión continua de las vibraciones del puente para detectar posibles anomalías o cambios en su estructura.

- Alerta Temprana de Accidentes:

Incluye sistemas de alerta temprana para terremotos e impactos.

Permite tomar medidas preventivas en caso de detectar posibles eventos sísmicos, reduciendo así el riesgo de daños o accidentes.

- Evaluación de la Salud:

Realiza análisis automáticos y evaluaciones en tiempo real.

Permite una evaluación exhaustiva mediante múltiples indicadores para determinar el estado de salud estructural del puente.

Ayuda a identificar áreas que necesitan mantenimiento o refuerzo.

- Evaluación del Riesgo Sísmico:

Incluye la modelización de puentes y la simulación de terremotos.

Realiza análisis numéricos y evaluaciones de riesgo, permitiendo a los ingenieros y planificadores comprender mejor la resistencia sísmica del puente y tomar decisiones informadas sobre su diseño y mantenimiento.

- 524 cámaras forman una red inteligente de defensa y control que cubre el HZMB.

El sistema de vigilancia compuesto por 524 cámaras forma una red inteligente de defensa y control que abarca el HZMB, actuando como un "sistema nervioso inteligente" del puente. Este sistema es responsable de la monitorización del funcionamiento del puente, incluyendo sus diferentes secciones como islas artificiales, puentes, túneles y las conexiones entre ellos, y de implementar una vigilancia exhaustiva para cubrir cada rincón del puente. También se encarga del procesamiento de información relacionada con las operaciones de seguridad y del mando en situaciones de emergencia, gestionando y respondiendo a emergencias para asegurar una reacción rápida y eficaz. Además, evalúa el aspecto comercial del funcionamiento del puente, como el flujo de tráfico y otros factores relevantes.

El centro de vigilancia emplea un sistema integrado de trabajo de vigilancia que integra más de 20 sistemas del puente (como vídeo, radiodifusión, audio, etc.) en una sola plataforma, facilitando la operación y aumentando la eficiencia del trabajo de vigilancia. El sistema usa un total de cámaras que forman parte del subsistema de vigilancia por vídeo, asegurando una cobertura total del puente y logrando una vigilancia completa y detallada.



- sistemas de control inteligente hacen que el HZMB sea más inteligente y modernizado.

Los sistemas de control inteligente desempeñan un papel crucial en hacer que el HZMB sea más inteligente y moderno. Estos 12 sistemas, que abarcan la iluminación, comunicación, vigilancia, y el suministro y drenaje de agua, han sido meticulosamente diseñados y construidos para alcanzar altos niveles de modernización, inteligencia y automatización. Para lograr este objetivo, el contratista ha desplegado aproximadamente 1.000 profesionales dedicados a las tareas de diseño y construcción.

Dada la naturaleza compleja y global del Puente, que incluye múltiples sistemas de control inteligentes interconectados e involucra diversas interfaces internas y externas, así como su integración con otros sistemas de control relacionados con la ingeniería civil y los tres puntos de control, cada detalle de su construcción es esencial.

En un enfoque innovador para la construcción, se ha implementado por primera vez el sistema BIM, avanzado a nivel internacional, para supervisar todo el proceso de construcción. Este sistema permite la visualización tridimensional y el seguimiento en tiempo real del progreso de la obra. También facilita la gestión del etiquetado de diversos componentes como cables, fibra óptica, farolas inteligentes y otros equipos, asegurando así una ejecución estable y eficiente del proyecto.

- Sistema de supervisión en línea de la salud del puente Hong Kong-Zhuhai-Macao

El sistema de supervisión en línea de la salud del HZMB aborda tres desafíos significativos: la gran altitud, el ambiente marítimo y los espacios confinados. En condiciones de alta temperatura y humedad, donde los equipos son susceptibles al daño y los monitores pueden experimentar falta de oxígeno, se depende en gran medida de la tecnología para el monitoreo.

Un ejemplo destacado es la monitorización de la salud de puentes y túneles. Se utilizan dispositivos avanzados, similares a los que miden el pulso y los latidos del corazón humanos, para supervisar el estado operativo de la estructura y responder a cambios ambientales significativos, como tifones.

Este sistema, equipado con sensores inteligentes de vanguardia, emplea tecnologías de IoT, procesamiento de big data e interacción hombre-máquina. Esta integración tecnológica permite determinar el programa de mantenimiento basado en la importancia y durabilidad de cada componente del puente. Así, se logra una monitorización precisa del estado de salud del puente, permitiendo identificar y abordar las anomalías de manera oportuna.

- Construcción de una plataforma inteligente de operación y mantenimiento

El proyecto del HZMB ha desarrollado una plataforma inteligente de operación y mantenimiento basada en la nube, dedicada a la integración de tecnologías avanzadas para la gestión eficiente del puente. Esta plataforma facilita el almacenamiento, la compartición, la gestión



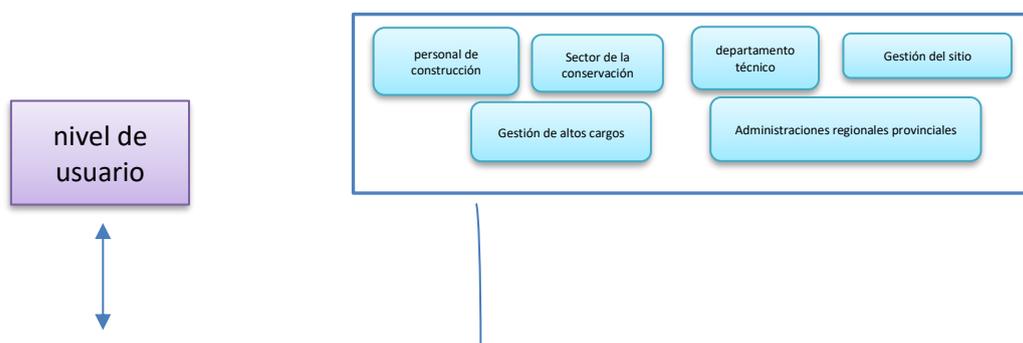
y la consulta de datos en un entorno de nube, apoyando así la integración y el intercambio de recursos de información operativa, así como el procesamiento y los servicios de datos heterogéneos provenientes de múltiples fuentes.

Además, el proyecto ha acumulado una vasta colección de archivos de ingeniería, que son cruciales para el aprendizaje, la refinación y la síntesis de conocimientos. Estos incluyen diseño preliminar, planos de construcción, proceso constructivo, supervisión, consultoría, pruebas de terceros, datos de medición y control, investigación científica y datos de archivo de la gestión del proyecto. Hasta la fecha, estos archivos, que suman alrededor de 23.000 volúmenes y comprenden una variedad de formatos como textos, dibujos, videos, audios, diarios internos y publicaciones oficiales, han sido organizados y archivados según los estándares y formatos de finalización y aceptación del proyecto.

Durante la construcción del HZMB, la tecnología y la mano de obra empleadas en cada sección del proyecto se situaron entre las mejores del mundo, lo que se refleja en la solicitud de más de 500 patentes. El proceso de recopilación, refinamiento y síntesis de los datos históricos de la construcción es fundamental para establecer estándares industriales y es especialmente relevante para futuros proyectos de construcción de complejos de túneles e islas en puertos.

- Supervisión de la seguridad de la estructura del puente basada en la pasarela industrial 5G

El proyecto del HZMB ha implementado un avanzado sistema de monitoreo de la seguridad estructural, utilizando la tecnología de la pasarela industrial 5G de Mingyuan Zhirui. Este sistema recopila parámetros críticos como la deformación, la fuerza y las condiciones ambientales de cada punto estructural clave del puente. Estos datos se transmiten a una plataforma a través de la pasarela inalámbrica industrial 5G, permitiendo el monitoreo en tiempo real de la seguridad estructural del puente. Esto incluye estadísticas y análisis de datos, alarmas de anomalías y gestión remota, asegurando así la seguridad y la eficiencia en el mantenimiento de los puentes dañados.



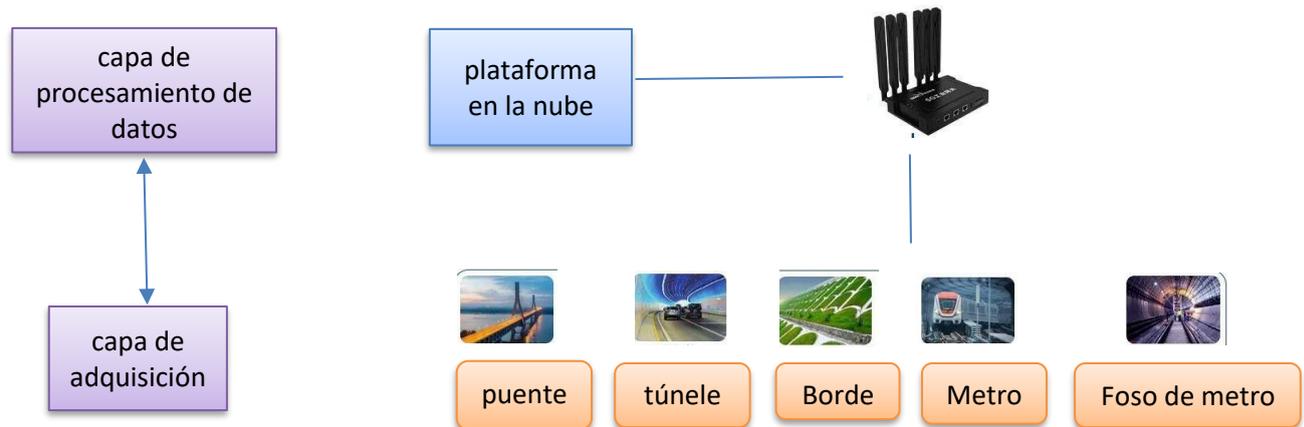


GRÁFICO 8 8.3 Flujo de trabajo de supervisión de la seguridad de estructuras de puentes con la pasarela industrial 5G

Fuente: Elaboración propia

Mediante una variedad de sensores, el sistema permite la transmisión en tiempo real de todos los aspectos de los datos del puente, mejorando la capacidad operativa del puente y la eficiencia del mantenimiento. Esto contribuye a prolongar la vida útil del puente. En cuanto a la determinación de cuándo y dónde realizar reparaciones en el puente, el sistema de operación y mantenimiento inteligente puede emitir juicios científicos. Esta capacidad no solo ahorra recursos sino que también maximiza los beneficios y extiende la vida útil del puente. Además, el sistema permite reflejar y juzgar en tiempo real los cambios en el entorno y la carga del puente, así como su impacto en el tráfico.

- BIM

El proyecto del HZMB ha implementado la tecnología BIM para coordinar de manera efectiva el diseño y la construcción del proyecto. La aplicación de BIM se ha extendido al proceso real de operación, mantenimiento y monitoreo, revolucionando los métodos tradicionales de mantenimiento y gestión de datos. El proyecto utiliza la plataforma Family Cube para la clasificación y gestión unificadas de la biblioteca de familias de equipos, con soporte para la gestión en la nube. Esto permite una gestión integrada y unificada de los datos del sistema, logrando no solo una gestión tridimensional de la información con BIM, sino también un avance en la gestión de control inteligente.

El sistema BIM también facilita la visualización del flujo de datos de gestión de espacios y mantenimiento de equipos, permitiendo actualizaciones en tiempo real para una localización y búsqueda rápidas. Esto será de gran ayuda para la operación y mantenimiento futuro del puente. Utilizando el formato DGN de Micro Station como estándar, arquitectos, ingenieros, contratistas y topógrafos pueden intercambiar modelos de diseño y datos asociados fácilmente. Para el diseño de



la calzada, se empleó Open Roads, permitiendo una variedad de opciones de diseño conceptual que se integran con los planos finales para garantizar precisión y mejorar la resolución de errores.

iModel se utilizó como formato para el intercambio de datos, asegurando la fidelidad e integridad de los datos de ingeniería. Bentley Navigator se empleó para la detección y análisis de colisiones, lo que permitió resolver problemas antes de la construcción y reducir los costos de construcción en un 12%. Además, la Oficina HZMB utilizó Project Wise como entorno de interconexión de datos para garantizar que el equipo descentralizado del proyecto HZMB pudiera acceder a los datos de ingeniería de manera eficiente.

- Reconocimiento facial por IA

El proyecto del HZMB ha implementado tecnologías avanzadas de IA para agilizar y mejorar la eficiencia en los puntos de control, particularmente mediante el uso de reconocimiento facial. La finalización del HZMB ha reducido significativamente el tiempo de viaje entre Hong Kong, Zhuhai y Macao, pasando de 4-5 horas a aproximadamente 30 minutos, lo que representa un considerable ahorro de tiempo y costos económicos.

El punto de control en el HZMB ha adoptado un modo inteligente de inspección y supervisión de viajes, introduciendo tecnologías como la clasificación inteligente y el reconocimiento facial dinámico. Estas tecnologías se utilizan para facilitar un despacho suave y eficiente, sin interferir en el paso de los viajeros normales. Este enfoque de inspección es el primero de su tipo en el país y se caracteriza por la "inspección y despacho cooperativos de una sola vez", lo que mejora significativamente la eficacia del despacho de aduanas.

La implementación de tarjetas inteligentes en el puente se realiza mediante tecnología de reconocimiento facial desarrollada por la empresa nacional Lu deep vision. Esta tecnología incluye los productos "Eagle Eye" y "Sentinel". El "Eagle Eye - Cámara de Inspección Fronteriza" proporciona un reconocimiento facial completo y funciones de lucha contra la falsificación. Esta tecnología se aplica en el paso de vehículos en el vestíbulo de inspección de entrada de Hong Kong del puente, permitiendo a los conductores verificar su identidad rápidamente sin necesidad de salir del vehículo.

Este uso de la IA y el reconocimiento facial en el HZMB es un ejemplo destacado de cómo las tecnologías avanzadas pueden ser aplicadas para mejorar la eficiencia y seguridad en infraestructuras de transporte críticas.



GRÁFICO 9 8.3 I8.3nteligencia artificial Instrumento de reconocimiento facial

Fuente: Di LU



GRÁFICO 10 8.3 I8.3nteligencia artificial Instrumento de reconocimiento facial

Fuente: Di LU

El sistema "Sentinel - 3D Portrait Multi-dimensional Data Control Channel" en el HZMB representa un avance significativo en el uso de tecnología de reconocimiento facial para la seguridad y la eficiencia en los puntos de control. Este sistema, que se basa en la recogida de información multipista, permite un paso único, recogida multidimensional, correlación y colisión, y alerta temprana integral. Se aplica en el reconocimiento facial de la humanidad del HZMB, permitiendo una rápida verificación de identidad de autoservicio.

Las características clave de este sistema incluyen:

Alta Tasa de Aciertos: Utiliza tecnología de reconocimiento facial tridimensional para identificar con precisión a las personas a partir de una base de datos de mil millones de nivel en segundos. Esta tecnología puede adaptarse a condiciones de iluminación complejas, incluyendo luz de fondo, oscuridad y entornos de visión nocturna.

Optimización para Diversos Escenarios: Ha sido especialmente optimizado para los

escenarios reales de despacho de aduanas en el HZMB. Tiene una buena capacidad de generalización para reconocer personas de diversos colores de piel y puede manejar eficazmente la iluminación compleja, incluyendo la luz solar directa.

Red Neuronal Ligera y Eficiente: Zhilu DeepVision ha desarrollado una red neuronal de detección y reconocimiento facial ligera y eficiente. Además, se ha realizado una optimización profunda del marco de despliegue de DL en la plataforma de hardware para mejorar la eficiencia operativa de la red neuronal.

Función Antifalsificación Avanzada: Se basa en la tecnología antifalsificación desarrollada con cámaras de profundidad de luz estructurada, capaz de resistir ataques de fotos, videos y máscaras de alta simulación. Esta tecnología permite detectar intentos de falsificación sin necesidad de interacción por parte del usuario, proporcionando una experiencia aduanera fluida y reduciendo significativamente el tiempo de despacho.

Este sistema integral en el HZMB no solo mejora la seguridad y la eficiencia de los procesos de despacho de aduanas, sino que también proporciona una experiencia de usuario mejorada, subrayando cómo la integración de tecnologías avanzadas puede transformar significativamente las operaciones en infraestructuras críticas.

- 5G + Beidou + AICDE

El HZMB, expuesto a tifones, incendios y cargas vehiculares, además de su propio envejecimiento y posibles daños por deformación, utiliza las tecnologías de información de nueva generación, como 5G, Beidou y AICDE, para la monitorización avanzada y el mantenimiento del puente. Esto proporciona datos científicos esenciales para la evaluación de la salud del puente y guía eficientemente la gestión y las labores de mantenimiento.

Desde 2019, Guangdong Mobile ha implementado varios sensores, incluyendo los de Beidou y aceleración, en el HZMB para lograr una cobertura perceptual completa de los puntos de estrés clave del puente. Utilizando la subestación de monitorización y el módulo 5G, estos sensores se conectan rápidamente a la red y transmiten datos a la nube. Adicionalmente, se ha establecido una estación base 5G en la isla artificial del puente, facilitando la integración del sistema de monitorización del túnel a través de la red cableada, con conexión directa a la red 5G.

La tecnología 5G asegura la estabilidad de la red y la seguridad del sistema de monitorización, ampliando su capacidad operativa. El sistema de posicionamiento de alta precisión Beidou facilita la medición precisa de la deformación espacial de la estructura. La aplicación de tecnología de computación de borde permite una gestión y configuración unificadas de los equipos de monitorización, realizando un procesamiento de datos borde-nube que mejora la eficiencia y la calidad de los datos recopilados.



GRÁFICO 11 8.3 Diagrama esquemático de la inspección de seguridad de puentes inteligentes 5G

Fuente: Bai Du

Esta plataforma integral logra una monitorización en tiempo real, recopilación de datos y mejora la eficiencia en la gestión y mantenimiento del puente. Además, se planea la aplicación de drones y barcos no tripulados para las patrullas diarias, lo que aumenta aún más las capacidades de monitoreo y mantenimiento del puente.

- Primer sistema de peaje del mundo compatible con distintos sistemas

El sistema de peaje del Puente Hong Kong-Zhuhai-Macao (HZMB) representa una innovación significativa en la ingeniería de tráfico, al ser el primero en el mundo en ser compatible con distintos sistemas de matrículas. Este logro tecnológico no habría sido posible sin la integración de la inteligencia artificial (IA). La IA, aplicada en este contexto, utiliza tecnología de reconocimiento visual avanzada que le permite identificar rápida y precisamente una variedad de tipos de matrículas de vehículos.

Este sistema de peaje, destacando por su innovación y eficiencia, ejemplifica cómo la tecnología de reconocimiento visual puede ser aplicada de manera práctica en proyectos de infraestructura a gran escala. Permite un procesamiento de peaje más rápido y eficiente, facilitando así la gestión del tráfico en uno de los puentes más largos y complejos del mundo. La implementación de esta tecnología en el HZMB es un claro ejemplo de cómo la IA puede mejorar significativamente la operatividad y la eficiencia en proyectos de ingeniería civil.



GRÁFICO 12 8.3 Identificación inteligente de los cruces

Fuente: Sou Hu



GRÁFICO 13 8.3 Identificación inteligente de los cruces

Fuente: Sou Hu



GRÁFICO 14 8.3 Oficina de venta de billetes de autobús Express Shuttle

Fuente: Sou Hu



GRÁFICO 15 8.3 Identificación inteligente de estaciones de vehículos

Fuente: Sou Hu

El sistema de cobro de peaje del HZMB ha enfrentado desafíos únicos debido a la diversidad de formatos de matrículas de vehículos y los distintos modos de cobro electrónico en China continental y Hong Kong. La complejidad se incrementa con las diferencias en las ubicaciones de los cobros manuales del peaje. Esta diversidad planteó un reto significativo para el flujo expedito de vehículos a través del puente.

Para superar estos retos, los expertos realizaron pruebas y ajustes exhaustivos al sistema de cobro de peajes. La versión de prueba del sistema fue modificada en 136 ocasiones a lo largo de dos años, y se realizaron más de 1,110 pruebas de simulación enfocadas en el reconocimiento de matrículas. Estos esfuerzos intensivos han dado como resultado mejoras notables: la tasa media de reconocimiento de matrículas aumentó de menos del 30% al 96.7%, y el tiempo medio de reconocimiento se redujo de 0.5 a 0.3 segundos.

Estas mejoras han permitido que los vehículos transiten más rápidamente y con mayor eficiencia, reduciendo los atascos de tráfico y ahorrando tiempo significativo a conductores y pasajeros. Además, el sistema de cobro de peajes del HZMB se ha destacado por ser el primero en el mundo en ser compatible con diferentes sistemas de matrículas, un logro notable que evidencia la eficacia de la integración de tecnología avanzada en la gestión de proyectos de infraestructura a gran escala.

- Supervisión inteligente del estado de la conducción



GRÁFICO 16 8.3Autobús lanzadera exprés

Fuente: Sou Hu

El sistema de control y seguridad desarrollado por Guangdong HZMB Shuttle Bus Company Limited para el HZMB es un avance significativo en la seguridad del transporte, especialmente diseñado para abordar los desafíos únicos del entorno de viaje en el puente.

El sistema de control se centra en supervisar el estado de conducción y la condición física de los conductores. Utiliza tecnología de reconocimiento facial para detectar en tiempo real si un conductor está fatigado, distraído o falta de concentración. Por ejemplo, si un conductor bosteza tres veces en 20 segundos, el sistema interpreta que podría estar fatigado y emite una alerta a través de la bocina del vehículo, recordando al conductor que maneje con precaución. Además, los conductores llevan brazaletes inteligentes que monitorizan su frecuencia cardíaca y presión arterial en tiempo real, enviando esta información al sistema para evaluar su estado físico y el riesgo de conducción asociado. En el futuro, estas pulseras también podrán rastrear la temperatura corporal y otros datos de salud.



Por otro lado, el sistema de seguridad controla la ubicación del vehículo, su velocidad, la distancia a otros vehículos y los cambios de carril en tiempo real. Alerta al conductor si la distancia con el vehículo de adelante es peligrosamente corta y registra eventos como salidas de carril o cambios sin señalizar. Además, el sistema utiliza un algoritmo para predecir riesgos futuros basándose en el comportamiento del conductor, emitiendo advertencias correspondientes. Las infracciones reiteradas pueden llevar a la suspensión de la formación del conductor o incluso a la expulsión de la flota, asegurando así la máxima seguridad en el puente.



GRÁFICO 17 8.3 Los conductores que adelantan

Fuente: Sou Hu

Este sistema integral y avanzado utiliza tecnología de vanguardia para garantizar la seguridad de conductores y pasajeros, sirviendo como un modelo ejemplar para futuras innovaciones en infraestructuras de transporte.

8.4 Retos y soluciones

En el proyecto del HZMB, la implementación de la IA y la analítica de big data ha traído notables beneficios, pero también ha presentado desafíos significativos. Esta sección examina estos desafíos y las soluciones adoptadas para superarlos.

- Retos de la integración y gestión de datos.

Desafío: Manejar e integrar efectivamente una gran cantidad de datos de diversas fuentes como registros de construcción, calidad de materiales y datos de control ambiental.

Solución: Se implementó un sistema avanzado de gestión de datos que automatiza la recopilación e integración de datos de diferentes fuentes, proporcionando una plataforma unificada para el análisis y la toma de decisiones.

- Precisión y aplicabilidad de los modelos de IA.

Desafío: Ajustar los modelos de IA a las condiciones específicas y cambiantes del entorno de ingeniería para garantizar la precisión de sus predicciones y análisis.

Solución: Se realizó una optimización continua de los modelos de IA, incorporando nuevos



datos y aprovechando el conocimiento experto y la experiencia en el campo, para reflejar más acertadamente las condiciones reales del proyecto.

- Recursos y competencias necesarios para la implantación de la tecnología.

Desafío: Disponer de los recursos técnicos y la capacitación profesional necesarios para implementar las tecnologías de IA y Big Data.

Solución: Se realizaron inversiones significativas en hardware y software y se proporcionó formación especializada al equipo de ingeniería para garantizar el uso eficiente de estas tecnologías.

- Retos medioambientales y de seguridad.

Desafío: Enfrentar los desafíos planteados por el complejo entorno de construcción marítima y las condiciones meteorológicas extremas.

Solución: Se aplicaron análisis de big data y herramientas de predicción de IA para monitorear en tiempo real los cambios ambientales y los riesgos potenciales, ajustando planes de construcción y medidas de seguridad para garantizar la calidad y seguridad del proyecto.

8.5 Importancia del caso

El concepto de IA y Big Data Analytics es ampliamente conocido hoy en día, pero a menudo se limita a una imagen teórica en la mente de las personas. Este capítulo introduce el HZMB como un caso de estudio emblemático de innovación tecnológica en ingeniería civil y gestión de calidad, ilustrando la aplicación práctica y el valor significativo de la IA y el BDA en la gestión de calidad en la ingeniería moderna. Mediante el análisis de las prácticas de gestión de calidad empleadas en el diseño, construcción y mantenimiento del HZMB, los lectores pueden entender cómo se pueden utilizar las tecnologías para asegurar la calidad de los proyectos de ingeniería, enfrentar desafíos técnicos y de gestión, y cómo estas tecnologías avanzadas pueden ser aplicadas en sus propios proyectos. Además, el proyecto HZMB sirve como un claro ejemplo de colaboración interregional y cooperación entre múltiples entidades, ofreciendo a los lectores experiencias valiosas sobre la aplicación de una gestión efectiva de la calidad en entornos de proyectos complejos.

8.6 Lecciones aprendidas y perspectivas de futuro:

Como proyecto emblemático de ingeniería civil, la experiencia del HZMB en la utilización de big data e IA para la gestión de la calidad ofrece perspectivas valiosas y señala direcciones futuras.

8.6.1 Lecciones aprendidas.

Toma de decisiones basada en datos: El proyecto HZMB ilustra cómo el análisis de big data puede respaldar una toma de decisiones más precisa y oportuna. Integrando datos de diversas



fuentes, el equipo del proyecto logró una mejor comprensión de la dinámica del proyecto, lo que facilitó decisiones de gestión más efectivas.

El papel de la IA en la evaluación y optimización de riesgos: En el proyecto se utilizó la tecnología de IA para prever riesgos potenciales y optimizar la asignación de recursos. Los modelos predictivos de IA permitieron a los gestores del proyecto identificar problemas anticipadamente, tomando medidas preventivas para asegurar la finalización del proyecto a tiempo y con calidad.

Retos y oportunidades en la integración tecnológica: El proyecto también destacó los desafíos de integrar tecnologías, como la complejidad en la gestión de datos y la adaptación de modelos de IA. Estos desafíos han impulsado la optimización de innovaciones tecnológicas y métodos.

8.6.2 Perspectivas de futuro

Ampliación de la aplicación tecnológica: Se prevé una mayor aplicación de big data y IA en la ingeniería civil. Con la maduración de la tecnología y el surgimiento de más casos exitosos, estas herramientas se convertirán en prácticas estándar en la gestión de proyectos.

Profundización en la convergencia tecnológica: La convergencia de tecnologías de IA y big data se intensificará, proporcionando capacidades analíticas y de optimización más avanzadas. Por ejemplo, se podrían alcanzar análisis de datos más profundos y un mejor soporte en la toma de decisiones a través del machine learning y el aprendizaje profundo.

8.6.3 Desafíos a prueba de futuro

La industria debe prepararse para enfrentar nuevos desafíos como la seguridad de los datos, la protección de la privacidad, y los análisis de coste-beneficio de la implementación tecnológica. Esto requiere una innovación continua y una gestión adaptable.

9. Conclusión

9.1 Evaluación general de la literatura

En este estudio, hemos examinado la aplicación de la IA y el Big Data en la gestión de calidad en la ingeniería civil, analizando estudios relevantes. Estas tecnologías han demostrado mejorar la eficiencia y precisión en la gestión de proyectos. La IA, por ejemplo, contribuye a la reducción de errores a través del mantenimiento predictivo y el análisis de patrones. Por su parte, el análisis de big data optimiza la asignación de recursos y la evaluación de riesgos, mejorando significativamente la toma de decisiones en la gestión de proyectos.

Observamos también que la aplicación práctica de la IA y el big data está íntimamente ligada a la investigación teórica. La teoría proporciona una base sólida para las aplicaciones prácticas,

especialmente en lo que respecta a la optimización de algoritmos y técnicas de minería de datos. Estos avances teóricos no solo han impulsado el desarrollo tecnológico, sino que también han generado cambios revolucionarios en el campo de la ingeniería civil. Por ejemplo, con la utilización de algoritmos de machine learning, los gestores de proyectos pueden predecir con mayor exactitud el progreso y los costes de las obras, logrando así un control más eficaz de los presupuestos y los tiempos.

La gestión de calidad en la ingeniería civil apoyada por IA y big data representa un avance significativo en la aplicación de tecnologías a la ingeniería. Estas tecnologías ofrecen un potencial notable para mejorar el diseño y la eficiencia en la gestión de proyectos. Facilitan la identificación y evaluación de riesgos y apoyan una toma de decisiones más informada, lo cual es vital para la seguridad y la eficiencia económica de los proyectos. Se enfatiza la importancia de la investigación continua y la cooperación interdisciplinaria para el desarrollo efectivo y la aplicación de estas tecnologías en la ingeniería civil, especialmente en el contexto de desafíos como la sostenibilidad y la creciente complejidad. La exploración de estas tecnologías puede enriquecer la comprensión académica y proporcionar casos de estudio prácticos.

9.2 Puntos de controversia en la literatura

Al revisar la literatura y los materiales relacionados con la aplicación de la IA y la analítica de big data en la gestión de la calidad de la ingeniería civil, emergen varios puntos de controversia. En primer lugar, existe un debate sobre la precisión y fiabilidad de las técnicas de IA. Mientras algunos estudios destacan la eficacia y precisión de los sistemas de IA en el análisis y predicción de datos, otros apuntan a posibles errores y limitaciones de estos sistemas al manejar datos complejos de ingeniería. Por ejemplo, se ha observado que los sistemas de IA pueden no ser tan adaptables como los expertos humanos al tratar con datos no estandarizados o situaciones imprevistas, y que corregir y verificar los datos mal interpretados por la IA puede incurrir en costos adicionales de tiempo y dinero.

En segundo lugar, la aplicación de big data en la ingeniería civil genera debates en torno a la seguridad y la privacidad de los datos. Aunque estos sistemas ofrecen valiosas perspectivas y estrategias de optimización, también presentan riesgos de filtraciones y mal uso de los datos, desafíos que se ven acentuados por las normativas vigentes. Este dilema ilustra la complejidad de equilibrar la innovación y la seguridad en la implementación de tecnologías avanzadas.

Además, se discute sobre las compensaciones entre la eficiencia y la rentabilidad que aportan la IA y el big data en la gestión de la calidad de los proyectos. Aunque estas tecnologías pueden mejorar la eficiencia y precisión, también es importante considerar sus costes de implementación y mantenimiento. El uso y el mantenimiento de estos sistemas informáticos suelen implicar una

inversión significativa, lo que lleva a preguntarse si el retorno a largo plazo de estas inversiones es suficiente en proyectos de ingeniería reales.

En resumen, aunque la IA y el big data ofrecen un gran potencial para la gestión de la calidad en la ingeniería civil, aún existen controversias y desafíos significativos en su aplicación. La investigación futura necesita abordar estos puntos de controversia de manera más profunda para encontrar soluciones y compensaciones más efectivas.

9.3 Resumen de las conclusiones más relevantes

Este estudio, tras revisar un amplio conjunto de literatura, revela varios hallazgos clave que tienen el potencial de transformar las prácticas y teorías existentes en la gestión de la calidad en la ingeniería civil. En primer lugar, la aplicación de la IA en proyectos de ingeniería civil, especialmente su uso en el mantenimiento predictivo y la evaluación de riesgos, demuestra la capacidad de la IA no solo para procesar datos complejos sino también para predecir desafíos y riesgos del proyecto en tiempo real. Este enfoque marca un cambio significativo de la gestión reactiva tradicional a un modelo más proactivo y predictivo.

En segundo lugar, el uso del análisis de big data para optimizar la asignación de recursos y el control de costes revela el poder de la toma de decisiones basada en datos. Mediante el análisis de datos históricos y en tiempo real, las tecnologías de big data pueden proporcionar una comprensión más profunda y ayudar a los gestores de proyectos a tomar decisiones más precisas y fundamentadas. Esto no solo mejora la eficiencia económica de los proyectos, sino que también ofrece una perspectiva más completa y matizada de la gestión de la calidad.

Además, la integración de las aplicaciones de IA y big data ha demostrado ser altamente sinérgica en la ingeniería civil. Esta integración no solo mejora los beneficios de cada tecnología individualmente, sino que también crea nuevas posibilidades, como la asignación optimizada de recursos a través de algoritmos de ML y la mejora en la predicción de riesgos gracias al análisis de big data.

En conclusión, estos hallazgos subrayan la importancia de la tecnología en la resolución de problemas complejos en la ingeniería civil, a la vez que revelan nuevas exigencias para los profesionales del sector en términos de conocimientos tecnológicos y habilidades de aplicación. A medida que la tecnología continúa avanzando, se vuelve cada vez más crucial para los ingenieros civiles comprender y aplicar eficazmente estas tecnologías.

9.4 Contribución de este estudio y su impacto en la gestión de la calidad en proyectos de ingeniería civil

Este estudio aporta significativamente a la comprensión de la aplicación de la IA y el análisis

de big data en la gestión de la calidad en la ingeniería civil. Primero, al sintetizar y analizar la literatura existente, y enfocándose en la integración de estas dos tecnologías, este estudio cubre un vacío en la investigación actual que carece de una exploración profunda de esta aplicación integrada. Específicamente, aporta nuevas perspectivas para entender cómo la IA y el big data interactúan y cómo esta colaboración puede mejorar la eficiencia en la gestión de proyectos de ingeniería.

En segundo lugar, los hallazgos destacan el potencial de la IA y el big data para mejorar la precisión en las predicciones, optimizar la asignación de recursos y mejorar la gestión de riesgos. Estas conclusiones tienen implicaciones significativas para los proyectos reales de ingeniería civil. Por ejemplo, el uso de la IA para una evaluación más precisa de los riesgos y el mantenimiento predictivo puede reducir considerablemente los retrasos y sobrecostos en los proyectos de ingeniería. Mientras tanto, la aplicación del análisis de big data puede ayudar a los gestores de proyectos a entender mejor las tendencias y patrones históricos para tomar decisiones más informadas y basadas en datos.

Además, este estudio proporciona referencias valiosas para los profesionales y responsables de toma de decisiones en la ingeniería civil sobre la aplicación práctica de la IA y el big data. Estas tecnologías no solo mejoran la gestión de la calidad, sino que también ofrecen nuevas herramientas para el manejo del tiempo y el control de costes en la gestión de proyectos.

Por último, este estudio presenta desafíos y oportunidades para futuras investigaciones académicas y prácticas en la industria. Con la continua evolución de la tecnología, hay un vasto terreno por explorar sobre cómo aplicar de manera más eficaz las tecnologías de IA y big data en proyectos de ingeniería civil. Se espera que estos descubrimientos impulsen a la industria hacia un modelo de gestión de calidad más eficiente e inteligente.

9.5 Lagunas en la investigación y recomendaciones

A pesar de los valiosos hallazgos de este estudio sobre la aplicación de la IA y el análisis de big data en la gestión de calidad en ingeniería civil, todavía existen lagunas en la investigación que requieren atención. A continuación se presentan algunas recomendaciones basadas en los hallazgos actuales:

- Investigación más profunda sobre la integración de la tecnología.

Los estudios futuros deberían explorar con mayor profundidad cómo las tecnologías de IA y big data pueden fusionarse para aplicaciones específicas en la ingeniería civil. En particular, el enfoque podría estar en estrategias de integración efectivas o en el desarrollo de modelos para mejorar la precisión de las predicciones y la calidad de las decisiones.

- Estudios de casos y pruebas de aplicación.

Se recomienda a los investigadores realizar más estudios de casos en proyectos reales de ingeniería civil para validar la eficacia de la IA y el análisis de big data. Estos estudios de casos pueden proporcionar insights valiosos sobre los desafíos y aplicaciones prácticas de estas tecnologías.

- Exploración de enfoques interdisciplinarios.

Integrar la IA y el análisis de big data con disciplinas como la economía, ciencias ambientales y sociología podría enriquecer la gestión de calidad en ingeniería civil. Este enfoque interdisciplinario podría revelar nuevas formas de aplicar estas tecnologías en diversos contextos.

- Investigación sobre cuestiones de seguridad y privacidad de los datos.

A medida que la IA y el big data se integran más en la ingeniería civil, la seguridad y privacidad de los datos se convierten en preocupaciones críticas. La investigación futura debe abordar cómo proteger estos datos de manera legal y eficiente, con un enfoque en la privacidad y la mejora de la gestión de calidad.

- Impacto a largo plazo y evaluación de la sostenibilidad.

Se sugiere investigar el impacto a largo plazo de la IA y el big data en la gestión de la calidad en ingeniería civil, especialmente en términos de sostenibilidad ambiental y responsabilidad social. Esta investigación podría ayudar a evaluar el valor y la sostenibilidad a largo plazo de estas tecnologías.

10. Limitaciones de la investigación

10.1 Limitaciones metodológicas.

Aunque este estudio ofrece perspectivas significativas sobre la aplicación de la IA y el análisis de big data en la gestión de la calidad en ingeniería civil, presenta ciertas limitaciones metodológicas que pueden haber influenciado la interpretación y aplicación de los resultados. Las principales limitaciones son:

- Selección de la muestra.

El estudio se basó principalmente en literatura académica publicada y estudios de casos. Esto puede introducir un sesgo de muestra, ya que la literatura podría estar más inclinada a informar sobre éxitos, omitiendo ejemplos de fracasos o estudios menos divulgados. Este sesgo puede resultar en un análisis menos completo de los desafíos y limitaciones en la implementación de estas tecnologías, afectando la comprensión global de sus efectos.

- Ámbito temporal de la cobertura bibliográfica.

La bibliografía analizada en este estudio se enfoca en publicaciones recientes, lo que podría omitir investigaciones o desarrollos anteriores significativos en este campo. A pesar de la rápida evolución tecnológica, los trabajos antiguos pueden seguir siendo relevantes y valiosos.



- Método de análisis.

Se utilizó un enfoque cualitativo basado en revisión bibliográfica y estudios de casos. Aunque este método ofrece una comprensión profunda, puede carecer del respaldo de datos cuantitativos rigurosos. Algunas conclusiones podrían necesitar validación adicional a través de investigación cuantitativa.

- Cambios rápidos en la tecnología.

La tecnología de IA y big data evoluciona rápidamente, por lo que algunas conclusiones del estudio pueden quedar obsoletas en poco tiempo. Los desarrollos tecnológicos nuevos pueden presentar desafíos y oportunidades que no se reflejan en tiempo real en este estudio.

- Consideraciones geográficas y culturales.

El estudio se centra en literatura de una región específica y utiliza principalmente el inglés en la búsqueda bibliográfica. Esto podría no considerar adecuadamente las diferencias en aplicaciones en distintos contextos geográficos y culturales, limitando la comprensión a nivel global de las aplicaciones de la IA y big data.

A pesar de estas limitaciones, el estudio proporciona información valiosa para la comprensión de la aplicación de la IA y big data en la gestión de calidad en ingeniería civil. Las investigaciones futuras deberían abordar estas limitaciones mediante una muestra más amplia, metodologías variadas y un período de tiempo más extenso.

10.2 Limitaciones de los datos y los marcos teóricos

A pesar de los avances significativos de este estudio en explorar la aplicación de la IA y el Big Data en la gestión de la calidad en ingeniería civil, la selección de las fuentes de datos y los marcos teóricos ha introducido ciertas limitaciones y sesgos.

- Limitaciones de las fuentes de datos.

Este estudio se basa principalmente en literatura académica publicada y estudios de casos. Esto puede llevar a un sesgo en las fuentes de datos, ya que estas fuentes tienden a centrarse en casos de éxito y pueden pasar por alto situaciones no exitosas o poco reportadas, resultando en un análisis incompleto de las deficiencias y carencias. Además, los datos pueden no ofrecer una cobertura exhaustiva de todas las aplicaciones tecnológicas relevantes, especialmente en diferentes contextos geográficos y culturales.

- Elección del marco teórico.

Los marcos teóricos empleados se enfocan en innovación tecnológica y gestión de calidad en ingeniería civil. Aunque proporcionan una base sólida teórica, podrían haber descuidado otros aspectos, como repercusiones socioeconómicas, aceptación de usuarios o políticas y normativas, limitando una comprensión integral del impacto de la IA y el Big Data.



- Posibilidad de sesgo.

La subjetividad en este estudio puede influir en la interpretación de los datos y en la aplicación del marco teórico. La selección y análisis de la literatura podrían estar sesgados hacia evidencia que respalda hipótesis, enfatizando los beneficios de la tecnología y minimizando información contradictoria.

- Naturaleza dinámica de los avances tecnológicos.

La rápida evolución de la IA y el análisis de big data puede llevar a una obsolescencia rápida de los marcos teóricos y las fuentes de datos, lo que podría limitar su aplicabilidad a futuros desarrollos tecnológicos.

- Retos de la integración interdisciplinar.

La integración interdisciplinar de dos tecnologías y campos de gestión presenta desafíos tanto teóricos como prácticos. La integración teórica puede no considerar adecuadamente las características de las distintas disciplinas, mientras que la aplicación práctica puede enfrentar obstáculos en la integración de conocimientos y competencias.

En conclusión, aunque estas limitaciones puedan afectar la generalización y profundidad de los resultados, también ofrecen oportunidades valiosas para futuras investigaciones. Se recomienda que las investigaciones futuras adopten una gama más amplia de fuentes de datos, un marco teórico más diverso y un enfoque analítico más integrado.

10.3 Recomendaciones para futuras investigaciones.

Considerando las limitaciones de este estudio en cuanto a metodología, fuentes de datos y marco teórico, las siguientes recomendaciones están dirigidas a guiar la investigación futura para abordar estas áreas y profundizar en la comprensión del tema:

- Diversificar las fuentes de datos.

Se recomienda a las investigaciones futuras considerar el uso de una gama más amplia y variada de fuentes de datos, como estudios de casos inéditos, informes de noticias de distintos periodos, informes sectoriales y bibliografía internacional. Esto puede ayudar a reducir el sesgo de la muestra, enriquecer la perspectiva del estudio y proporcionar una comprensión más holística.

- Ampliación del marco teórico.

Se sugiere integrar los marcos teóricos existentes de tecnología y gestión con teorías de otros campos, como sociología, ciencias ambientales, derecho, etc. Esto permitirá una evaluación más completa de las complejas implicaciones de las tecnologías de IA y Big Data.

- Introducción de métodos de investigación cuantitativos.

Se anima a los futuros investigadores a combinar métodos cualitativos y cuantitativos. Esta combinación puede ofrecer un soporte de datos más robusto, facilitar análisis estadísticos y



proporcionar resultados replicables y verificables.

- Seguimiento de los avances tecnológicos.

Debido a la rápida evolución de la IA y el Big Data, es esencial que las investigaciones futuras mantengan una actualización continua sobre los últimos desarrollos para garantizar la relevancia y actualidad de la investigación.

- Enfoque en Perspectivas Globales

Las investigaciones futuras deben enfocarse en casos y datos desde una perspectiva global, incluyendo países con diferentes niveles de desarrollo económico y contextos culturales. Esto mejorará la generalización y aplicabilidad de la investigación.

- Estudios a Largo Plazo y Continuos

Dada la naturaleza dinámica de la tecnología, se recomienda realizar proyectos de investigación a largo plazo que rastreen y evalúen los impactos y efectos continuos de las tecnologías de IA y Big Data en la gestión de calidad en ingeniería civil.

Estas recomendaciones buscan orientar futuros trabajos de investigación para superar limitaciones actuales y contribuir significativamente al campo de la ingeniería civil y la gestión de calidad.



11.REFERENCIAS.

- [1] Alavi A H, Gandomi A H. Big data in civil engineering[J]. Automation in Construction, 2017.
- [2] Al-Jamimi H A, Al-Kutti W A, Alwahaishi S, et al. Prediction of compressive strength in plain and blended cement concretes using a hybrid artificial intelligence model[J]. Case Studies in Construction Materials, 2022, 17: e01238.
- [3] Baduge S K, Thilakarathna S, Perera J S, et al. Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications[J]. Automation in Construction, 2022, 141: 104440.
- [4] Blake R W, Mathew R, George A, et al. Impact of artificial intelligence on engineering: Past, present and future[J]. Procedia CIRP, 2021, 104: 1728-1733.
- [5] Chen J, Ramanathan L, Alazab M. Holistic big data integrated artificial intelligent modeling to improve privacy and security in data management of smart cities[J]. Microprocessors and Microsystems, 2021, 81: 103722.
- [6] Czar W, Gierszal H, Pawlina K, et al. ICT for resource management and telematics in construction sites[J]. Procedia engineering, 2017, 208: 27-34.
- [7] Debrah C, Chan A P C, Darko A. Artificial intelligence in green building[J]. Automation in Construction, 2022, 137: 104192.
- [8] Demirdöğen G, Işık Z, Arayıcı Y. BIM-based big data analytic system for healthcare facility management[J]. Journal of Building Engineering, 2023, 64: 105713.
- [9] Du Yumin. Control y gestión del progreso de la construcción del proyecto de construcción [J]. Economía Contemporánea, 2012 (18): 16-17.
- [10] Dwivedi R, Nerur S, Balijepally V. Exploring artificial intelligence and big data scholarship in information systems: A citation, bibliographic coupling, and co-word analysis[J]. International Journal of Information Management Data Insights, 2023, 3(2): 100185.
- [11] Fan Qixiang, Qiang Maoshan, Jin Heping, et al. Gestión inteligente de proyectos de construcción de ingeniería a gran escala[J]. Revista de Generación Hidroeléctrica, 2017, 36(2): 112-120
- [12] Fu L, Li J, Chen Y. An innovative decision-making method for air quality monitoring based on big data-assisted artificial intelligence technique[J]. Journal of Innovation & Knowledge, 2023, 8(2): 100294.
- [13] Hallaji S M, Fang Y, Winfrey B K. Predictive maintenance of pumps in civil infrastructure: State-of-the-art, challenges and future directions[J]. Automation in Construction, 2022, 134: 104049.
- [14] Han K K, Golparvar-Fard M. Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study[J]. Automation in



- Construction, 2017, 73: 184-198.
- [15] Hariri-Ardebili M A, Mahdavi G, Nuss L K, et al. The role of artificial intelligence and digital technologies in dam engineering: Narrative review and outlook[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2023, 126: 106813.
- [16] He Z, Li W, Salehi H, et al. Integrated structural health monitoring in bridge engineering[J]. Automation in Construction, 2022, 136: 104168.
- [17] Hu Changbin. Problemas y contramedidas de la gestión de calidad en proyectos de construcción de ingeniería civil[J]. Desarrollo de la tecnología de la construcción, 2019, 46(06):51-52. Shen Xiang, Guo Qiao Koon. Investigación ampliada sobre la aplicación de la inteligencia artificial en la gestión de proyectos de ingeniería[J]. China Engineering Consultancy, 2020(8):7.
- [18] Huang J, Koroteev D D, Rynkovskaya M. Building energy management and forecasting using artificial intelligence: Advance technique[J]. Computers and Electrical Engineering, 2022, 99: 107790.
- [19] Ikudayisi A E, Chan A P C, Darko A, et al. Integrated practices in the Architecture, Engineering, and Construction industry: Current scope and pathway towards Industry 5.0[J]. Journal of Building Engineering, 2023: 106788.
- [20] Jiang Y, Yang G, Li H, et al. Knowledge driven approach for smart bridge maintenance using big data mining[J]. Automation in Construction, 2023, 146: 104673.
- [21] Kamyab H, Khademi T, Chelliapan S, et al. The latest innovative avenues for the utilization of artificial Intelligence and big data analytics in water resource management[J]. Results in Engineering, 2023: 101566.
- [22] Koseleva N, Ropaite G. Big data in building energy efficiency: understanding of big data and main challenges[J]. Procedia Engineering, 2017, 172: 544-549.
- [23] Li F, Laili Y, Chen X, et al. Towards big data driven construction industry[J]. Journal of Industrial Information Integration, 2023: 100483.
- [24] Li J B, Chen Z Y, Li X, et al. Feedback on a shared big dataset for intelligent TBM, Part II: Application and forward look[J]. Underground Space, 2023.
- [25] Li J, Herdem M S, Nathwani J, et al. Methods and applications for Artificial Intelligence, Big Data, Internet of Things, and Blockchain in smart energy management[J]. Energy and AI, 2023, 11: 100208.
- [26] Lynch J P, Sohn H, Wang M L. Introduction to sensors and sensing systems for civil infrastructure monitoring and asset management[M]//Sensor Technologies for Civil Infrastructures. Woodhead Publishing, 2022: 3-17.
- [27] Măgurean A M, Czumbil L, Manea D L, et al. Artificial intelligence based prediction model for the long-term heat flux losses through ground applied to large non-residential



- buildings[J]. *Procedia Manufacturing*, 2019, 32: 434-441.
- [28] McMillan L, Varga L. A review of the use of artificial intelligence methods in infrastructure systems[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2022, 116: 105472.
- [29] Mehmood M U, Chun D, Han H, et al. A review of the applications of artificial intelligence and big data to buildings for energy-efficiency and a comfortable indoor living environment[J]. *Energy and Buildings*, 2019, 202: 109383.
- [30] Miao Di. Investigación sobre los factores y las medidas de solución que afectan a la gestión de la calidad de la ingeniería civil [J]. *Dwelling*, 2020(06):146.
- [31] Mishra M, Lourenço P B, Ramana G V. Structural health monitoring of civil engineering structures by using the internet of things: A review[J]. *Journal of Building Engineering*, 2022, 48: 103954.
- [32] Noh H Y, Fagert J. Big data analysis for civil infrastructure sensing[M]//*Sensor Technologies for Civil Infrastructures*. Woodhead Publishing, 2022: 639-677.
- [33] Oluleye B I, Chan D W M, Antwi-Afari P. Adopting Artificial Intelligence for enhancing the implementation of systemic circularity in the construction industry: A critical review[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2022.
- [34] Omotayo T, Bankole A, Olubunmi Olanipekun A. An artificial neural network approach to predicting most applicable post-contract cost controlling techniques in construction projects[J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(15): 5171.
- [35] Outay F, Mengash H A, Adnan M. Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges[J]. *Transportation research part A: policy and practice*, 2020, 141: 116-129.
- [36] Pan Y, Zhang L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends[J]. *Automation in Construction*, 2021, 122: 103517.
- [37] Pandey D K, Hunjra A I, Bhaskar R, et al. Artificial intelligence, machine learning and big data in natural resources management: A comprehensive bibliometric review of literature spanning 1975–2022[J]. *Resources Policy*, 2023, 86: 104250.
- [38] Pregnotato M, Gunner S, Voyagaki E, et al. Towards Civil Engineering 4.0: Concept, workflow and application of Digital Twins for existing infrastructure[J]. *Automation in Construction*, 2022, 141: 104421.
- [39] Rafsanjani H N, Nabizadeh A H. Towards human-centered artificial intelligence (AI) in architecture, engineering, and construction (AEC) industry[J]. *Computers in Human Behavior Reports*, 2023: 100319.
- [40] Sacks R, Girolami M, Brilakis I. BIM, artificial intelligence, and construction tech[J]. *Developments in the Built Environment*, 2020, 4: 100011.



- [41] Salehi H, Burgueño R. Emerging artificial intelligence methods in structural engineering[J]. *Engineering structures*, 2018, 171: 170-189.
- [42] Salehi H, Gorodetsky A, Solhmirzaei R, et al. High-dimensional data analytics in civil engineering: A review on matrix and tensor decomposition[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2023, 125: 106659.
- [43] Srivastava C, Yang Z, Jain R K. Understanding the adoption and usage of data analytics and simulation among building energy management professionals: A nationwide survey[J]. *Building and Environment*, 2019, 157: 139-164.
- [44] Tiruneh G G, Fayek A R, Sumati V. Neuro-fuzzy systems in construction engineering and management research[J]. *Automation in construction*, 2020, 119: 103348.
- [45] Trappey A J C, Elgh F, Hartmann T, et al. Advanced design, analysis, and implementation of pervasive and smart collaborative systems enabled with knowledge modelling and big data analytics[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2017, 33: 206-207.
- [46] Una revisión de la aplicación de ANN en ingeniería y gestión de la construcción [J]. *Revista de Tecnología de Ingeniería y Aplicación*, 2014, 2(3): 134-142.
- [47] Urbieta M, Urbieta M, Laborde T, et al. Generating BIM model from structural and architectural plans using Artificial Intelligence[J]. *Journal of Building Engineering*, 2023, 78: 107672.
- [48] Wang C, Song L, Yuan Z, et al. State-of-the-Art AI-Based Computational Analysis in Civil Engineering[J]. *Journal of Industrial Information Integration*, 2023: 100470.
- [49] WANG Liu-Wang, ZHOU Zi-Qiang, LIN Long, et al. A review on the application of artificial intelligence in substation operation and maintenance management[J]. *Tecnología de alta tensión*, 2020, 46(1): 1-13.
- [50] Waqar A, Qureshi A H, Almujiabah H R, et al. Evaluation of success factors of utilizing AI in digital transformation of health and safety management systems in modern construction projects[J]. *Ain Shams Engineering Journal*, 2023, 14(11): 102551.
- [51] WU Fenghua, DU Congcong. Investigación sobre la gestión de proyectos de construcción en la era de los grandes datos[J]. *Chinese Science and Technology Journal Database (Citation Edition) Engineering Technology*, 2016 (04): 00023-00023.
- [52] Wu Q, Ren H, Shi S, et al. Analysis and prediction of industrial energy consumption behavior based on big data and artificial intelligence[J]. *Energy Reports*, 2023, 9: 395-402.
- [53] Yüksel N, Börklü H R, Sezer H K, et al. Review of artificial intelligence applications in engineering design perspective[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2023, 118: 105697.
- [54] Zhang R, Sun H. Deep learning and data analytics for assessing seismic performance of civil infrastructures[M]//*Sensor Technologies for Civil Infrastructures*. Woodhead



Publishing, 2022: 531-579.

- [55] Zhang Y, Geng P, Sivaparthipan C B, et al. Big data and artificial intelligence based early risk warning system of fire hazard for smart cities[J]. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2021, 45: 100986.