

Inteligencia artificial y macrodatos en la gestión del talento para megaconstrucciones

Gabriel Montúfar Chiriboga

Autor de correspondencia

<https://orcid.org/0000-0003-3392-3728>

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá

gabriel.montufar@up.ac.pa

Fecha de recepción: 21 de agosto de 2025

Fecha de aceptación: 31 de diciembre de 2025

Fecha de publicación: 30 de enero de 2026

DOI: <https://doi.org/10.59722/riic.v3i1.1029>

Cómo citar: Montufar, G. (2026). *Inteligencia artificial y macrodatos en la gestión del talento para megaconstrucciones*. *Revista Iberoamericana De Innovación Científica JA TUAIDA*, 3(1), 96–132.
<https://doi.org/10.59722/riic.v3i1.1029>

RESUMEN

Las megaconstrucciones son proyectos de gran escala que implican una gestión del talento humano efectiva para poder garantizar la productividad, la seguridad y cumplir los plazos. En este sentido, la inteligencia artificial y los macrodatos se posicionan como herramientas que pueden transformar esta situación. Este ensayo se centra en la forma en que estas tecnologías pueden ayudar a predecir la productividad a partir de modelos de aprendizaje automático, facilitar el monitoreo de seguridad con visión por computadora y la evaluación de los riesgos ergonómicos y para la fatiga de los trabajadores. Se analizan los usos reales de estas tecnologías en la industria de la construcción. Se abordan los problemas éticos de la introducción de estas nuevas tecnologías, como la privacidad de los datos o la brecha en las competencias digitales. Se añaden dos tablas que comparan sus métodos y beneficios. Los hallazgos sugieren que la aplicación de estas tecnologías puede mejorar la productividad en la megaconstrucción colaborando en la transformación de un enfoque reactivo a uno proactivo de la gestión del talento.

Palabras clave:

gestión del personal, industria de la construcción, inteligencia artificial, procesamiento de datos, seguridad en el trabajo

Artificial intelligence and big data in talent management for megaconstruction projects

ABSTRACT

Megaconstruction projects are large-scale undertakings that require effective human talent management in order to ensure productivity, safety, and schedule compliance. In this context, artificial intelligence and big data are emerging as tools capable of transforming these conditions. This essay focuses on how these technologies can help predict productivity through machine-learning models, enable safety monitoring via computer vision, and support the assessment of ergonomic risks and worker fatigue. Real-world applications of these technologies in the construction industry are examined. Ethical challenges associated with the introduction of these new technologies are addressed, such as data privacy and the digital skills gap. Two tables are included to compare methods and benefits. The findings suggest that applying these technologies can enhance productivity in megaconstruction by contributing to the shift from a reactive to a proactive approach to talent management.

Keywords:

personnel management; construction industry; artificial intelligence; data processing; occupational safety

Inteligência artificial e big data na gestão de talentos para megaconstruções

RESUMO

As megaconstruções são projetos de grande escala que exigem uma gestão eficaz do talento humano para garantir a produtividade, a segurança e o cumprimento de prazos. Nesse sentido, a inteligência artificial e o big data se posicionam como ferramentas capazes de transformar esse cenário. Este ensaio concentra-se em como essas tecnologias podem ajudar a prever a produtividade por meio de modelos de aprendizagem de máquina, facilitar o monitoramento de segurança com visão computacional e a avaliação de riscos ergonômicos e da fadiga dos trabalhadores. São analisados usos reais dessas tecnologias na indústria da construção. Também são abordados os problemas éticos decorrentes da introdução dessas novas tecnologias, como a privacidade dos dados e a lacuna de competências digitais. Duas tabelas são acrescentadas para comparar métodos e benefícios. Os achados sugerem que a aplicação dessas tecnologias pode melhorar a produtividade em megaconstruções, contribuindo para a transformação de uma abordagem reativa para uma abordagem proativa na gestão de talentos.

Palavras-chave:

gestão de pessoal; indústria da construção; inteligência artificial; processamento de dados; segurança no trabalho

Introducción

Las megaconstrucciones — definidas aquí como proyectos de infraestructura de megaescala con elevada complejidad organizativa, interdependencias técnicas y perfiles de riesgo elevados— requieren de una gestión del talento humano que sea capaz de mantener en niveles óptimos: la productividad, la seguridad y el cumplimiento de los plazos en entornos de alta incertidumbre.

En las regiones en desarrollo como América Latina, esas exigencias se recrudecen por la existencia de unas brechas en competencias digitales, de las asimetrías en gobernanza de los datos y las rigideces de contratos; al tiempo que la expansión de carteras de inversión pública y Apps abre una ventana para las adopciones tecnológicas con métricas de resultados.

En Panamá, los capítulos recientes, tales como la Línea 3 del Metro, el Cuarto Puente sobre el

Canal, el Programa Hídrico del Canal y la ampliación/operación del Aeropuerto de Tocumen, dan cuenta de un portafolio donde la inteligencia artificial (IA) y macrodatos pueden habilitar una productividad basada en la evidencia, una seguridad proactiva y una asignación dinámica de recursos, en un ecosistema institucional con cultura de activos críticos y datos (ACP, Metro de Panamá, concesiones viales, aeropuertos).

Esta doble escala (global/latinoamericana y panameña) es la que justifica el foco del ensayo y la elección de casos locales en torno a la viabilidad de la adopción, su escalado. Se presentan definiciones operativas con el objetivo de imprimir rigor en la terminología de este ensayo, macrodatos hace referencia a conjuntos de datos que destacan por sus características de volumen, velocidad y variedad.

Aun así, esos conjuntos requieren de analítica avanzada; IA se

refiere al conjunto de técnicas que subyacen en el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo; si nos referimos a decisiones secuenciales, hablaremos de aprendizaje por refuerzo; por último, analítica de personas vendría a significar el uso sistemático de datos y modelos para la gestión del talento (selección, programación, seguridad, ergonomía, formación y retención).

Así, estas definiciones tratan de evitar un solapamiento que suele ser frecuente en la literatura existente y generan comparaciones entre trabajos, así como en dominios en los que términos tales como “megaproyectos/megaconstrucciones”, “macrodatos”, “IA/aprendizaje profundo/refuerzo” y “analítica de personas” son utilizados de forma muy laxa o heterogénea.

La revisión del estado del arte revela avances significativos en cuatro frentes: predicción acerca de la productividad mediante algoritmos con

aprendizaje automático y profundo; supervisar la seguridad a través de visión por computadora y textos incidentales; programación y asignación de recursos a partir de aprendizaje por refuerzo y simulaciones; y evaluación sobre ergonomía/fatiga mediante dispositivos portables y modelos probabilísticos (Adebayo *et al.*, 2025; Di Prima *et al.*, 2024; Ghimire *et al.*, 2024; Lim *et al.*, 2024; Mokhlespour Esfahani *et al.*, 2024; Obi *et al.*, 2025; Papadonikolaki *et al.*, 2025; Polzer, 2022; Sadatnya *et al.*, 2023; Zani *et al.*, 2024).

Sin embargo, quedan huecos: la escasa generalización hacia contextos latinoamericanos —pocos estudios empíricos en marcos institucionales y contractuales adecuados, e incluso menos evidencias sistemáticas para el caso de Panamá—; la heterogeneidad conceptual que complica la comparación; la escasa articulación entre talento y operaciones, pues se

repiten aproximaciones por silos; y la pragmática deficiente en ética y gobernanza de datos, que muchas veces queda al margen del análisis técnico.

El presente ensayo hace frente a esos huecos normalizando terminologías, entrelazando el vínculo entre personas–tecnología–organización y colocando la ética (privacidad, sesgos, ciberseguridad, trazabilidad) como parte de la propuesta de valor, no como un apéndice metodológico (Adebayo *et al.*, 2025; Ghimire *et al.*, 2024; Regona *et al.*, 2022).

Bajo estas definiciones y huecos, la aportación se centra en cómo IA y macrodatos posibilitan predecir productividad, a partir de diarios de obra y de contextos (Sadatnya *et al.*, 2023), monitorizar seguridad basado en visión por computadora y fusión multimodal, programar y asignar recursos a través de optimización y aprendizaje por

refuerzo, monitorear la fatiga/riesgos ergonómicos a través de redes probabilísticas y datos fisiológicos (Di Prima *et al.*, 2024; Lim *et al.*, 2024; Mokhlespour Esfahani *et al.*, 2024; Zani *et al.*, 2024).

Desde una perspectiva metodológica, se articula un corpus reciente (verano 2021–2025) y se sintetiza utilizando un marco temático que permite identificar patrones y huecos, manteniendo el foco aplicado en aplicaciones que reportan métricas de resultado y en su pertinencia para contextos con madurez digital heterogénea.

La relevancia local se ejemplifica con ejemplos panameños que muestran condiciones de prueba y escalamiento. En la Línea 3 del Metro se aprecian muy claramente gemelos digitales de avance, analítica de sensores para mantenimiento predictivo y visión por computadora para seguridad de los frentes de excavación (Al-Sinan *et al.*, 2024;

Daniel *et al.*, 2025; Jahangir *et al.*, 2024).

El Cuarto Puente sobre el Canal permite generar aprendizaje automático para optimizar secuencias de izaje y montaje, y también control de calidad automatizado de los prefabricados por visión, así como la elaboración de modelos de riesgo operativo ante viento y logística.

El Corredor de las Playas requiere simulación del tráfico y analítica de la movilidad con macrodatos para construcción/operación priorización causal de medidas de seguridad vial. La ampliación o la operación del Aeropuerto de Tocumen implica analítica de flujos de pasajeros, programación dinámica de recursos, visión por computadora para seguridad operacional y mantenimiento predictivo de HVAC y pasarelas (Autoridad del Canal de Panamá [ACP], 2025; La Prensa, 2025; Tocumen S.A., 2025).

Estas ilustraciones sumadas a los suficientes operadores con cultura de los datos y la cartera de 2025 a 2028 permiten un descenso de barreras de entrada y potencia pilotos con métricas de productividad, seguridad y cumplimiento de hitos, con potencial de estandarización y escalación si los beneficios son extensibles.

En América Latina, la promesa de la combinación de IA y macrodatos para la mejora convive con brechas de habilidades y de gobernanza; así, la adopción responsable necesita cláusulas contractuales de entrega/calidad de los datos, programas de actualización de habilidades por roles, protocolos de robustez y ciberseguridad.

En Panamá, una hoja de ruta posible es empezar pilotos de 3 a 6 meses en cuatro frentes: mantenimiento predictivo en equipos críticos, visión por computadora para seguridad/EPP, gemelos digitales

para escenarios de “qué pasaría si” en la programación y analítica hidrológica apoyada en aprendizaje automático para operación de reservas, y evaluación ex-ante/ex-post y gobernanza clara de los datos.

Este ensayo integra el marco anterior en un marco THO (Tecnológico-Humano-Organizacional) que combina tecnología, personas y organización para avanzar de las pruebas de concepto al valor capturado, y potencia la relevancia tanto global como regional, así como el que Panamá esté en un banco de pruebas que es institucional y operativo (Papadonikolaki *et al.*, 2025; Obi *et al.*, 2025).

Definitivamente, la lógica del trabajo apela a que es necesario aumentar productividad y seguridad y cerrar brechas de cualificación laboral, objetivo crítico en regiones donde la falta de mano de obra disponible sigue siendo una barrera persistente (Corral

et al., 2023; Elbashbishy & El-Adaway, 2024).

La aportación concreta del trabajo es doble: ofrece un vocabulario operativo donde normalizar términos; por otro lado, establece una comparación crítica que permite dar a conocer los vacíos existentes en la transferencia, integración talento-operaciones y también gobernanza ética, al tiempo que propone un criterio de adopción medibles y escalables en megaconstrucciones de Latinoamérica y poniendo énfasis en México.

Estrategia de revisión y enfoque del ensayo

Este trabajo se considera un ensayo argumentativo apoyado en una revisión de la narrativa estructurada por mapeo exploratorio centrada. No es una revisión sistemática en sentido estricto, pero hay una estrategia que puede replicarse para su búsqueda, cribado y síntesis y, en consecuencia, asegurar la trazabilidad metodológica.

La búsqueda se realizó en Scopus,

Web of Science Core Collection, ASCE Library, IEEE Xplore y ACM Digital Library; para literatura regional se recurrió a SciELO y Redalyc y Google Scholar solo se utilizó como complemento de rastreo hacia atrás. La ventana temporal corresponde del 1 de enero de 2021 al 31 de diciembre de 2025, y se consideraron publicaciones en inglés, español y portugués.

Se utilizaron operadores booleanos y truncamientos, y combinando términos sobre megaconstrucciones/megaproyectos y gestión del talento con la IA, los macrodatos, la productividad, la seguridad, la programación y la ergonomía. Los campos de búsqueda (título, resumen y palabras clave), junto con los filtros por áreas temáticas, han sido adaptados a una hoja de seguimiento para hacerlo replicable.

Los criterios de inclusión fueron pertenencia al ámbito de construcción,

megaconstrucciones, uso de IA, analítica de macrodatos, sensores o modelización avanzada y reporte de algún tipo de métrica de resultado, de relación o de validación (exactitud predictiva, reducción de incidentes, mejoras de productividad, desempeño de programación, ergonomía, etc.).

Se excluyeron trabajos fuera del ámbito de la construcción, estudios sin la presentación de un componente datos/modelos, este tipo de piezas de opinión, sin base empírica o metodológica, pre-publicaciones sin posibilidades de trazabilidad o duplicados sustantivos.

El flujo de la selección fue el siguiente: se obtuvieron 1.286 registros; una vez depurados los registros duplicados quedaron 842; se filtraron títulos y se descartaron 673 por ser irrelevantes a nivel temático o metodológico; se leyeron 169 documentos a texto completo, de los cuales se descartaron 126 por carecer de métricas de resultado aplicables o

por actuar sobre dominios no transferibles a obra. El tamaño de la muestra de análisis quedó en $n = 40$ estudios.

La extracción recogió, para cada estudio, el contexto del proyecto, el tipo de datos empleados (diarios de obra, registros de sensores, video o registros fisiológicos), la técnica de la IA o el enfoque de modelización (supervisado, profundo, refuerzo, probabilístico), la principal métrica de rendimiento y las condiciones de despliegue o validación.

El conjunto de pruebas fue clasificado dentro de cuatro ejes de análisis —productividad, seguridad, programación y ergonomía/fatiga—, lo que permitió también registrar intersecciones relevantes para la adopción (ejemplo: programación en función de riesgos de seguridad).

Para prevenir confusiones, se adopta un marco terminológico

operativo y consistente como el siguiente.

Por macrodatos se denominan aquellos conjuntos de datos que presentan tamaño, velocidad y variedad suficientemente grandes como para necesitar analítica avanzada; por megaconstrucciones, aquellos proyectos físicos de grandes dimensiones, organización compleja e interdependencias entre técnicas con perfiles de riesgo altos;

Por IA, el conjunto de técnicas que cubren el aprendizaje automático y aprendizaje profundo, siendo aprendizaje por refuerzo el modelo a considerar en caso de siguientes decisiones secuenciales; y por analítica de personas, el empleo sistemático de datos y modelos para decisiones de gestión del talento (selección, asignación, seguridad, ergonomía, formación y retención).

Estas definiciones se conservan de modo uniforme a lo largo

del texto para favorecer su comparabilidad a raíz de diversos estudios y la trasladabilidad a contextos latinoamericanos y panameños. La crítica a los retos de adopción se hace más profunda en torno a cuatro aspectos.

Primero, privacidad y protección de datos: el tratamiento de videos, la biometría y la telemetría implican tratar datos en relación con las bases legales, minimización y fines específicos, anonimización o pseudonimización y esquemas de auditoría externa; se sugiere comprobar privacidad desde el diseño, registrar fines y limitar las políticas de retención.

Segundo, sesgos algorítmicos y equidad: cualquier desbalance en razón de oficio, turno, género o subcontratación puede ser trasladado a las decisiones automatizadas de sancionar o recompensar; se sugiere la validación estratificada, la transparencia de la documentación de

los modelos de referencia y el monitoreo del rendimiento por subgrupo.

En tercer lugar, la brecha de capacidades digitales: la adopción efectiva depende de la asignación de competencias diferenciadas por rol (capataz, preventista, planificador, analista) y de perfiles traductores que conecten obra y datos; de forma progresiva, cabe la posibilidad de proponer una estrategia de formación con la posibilidad de conseguir resultados de aprendizaje verificables.

En cuarto lugar, la ciberseguridad operacional: arquitecturas de nube en obra requieren segmentación de redes OT/IT, gestión de credenciales, pruebas de penetración periódicas y métodos para asegurar la continuidad operacional ante incidentes.

Cuando el manuscrito plantee afirmaciones de política pública, programas o carteras de inversión,

éstas se sustentan en fuentes documentales explícitas. En caso de no existir respaldo institucional disponible, la redacción las exhibirá como propuestas del autor con vocación prospectiva, visiblemente diferenciadas de la evidencia documentada.

El grado de cobertura expresado —ensayo argumentativo con revisión narrativa estructurada— apunta a que no se aplicó una evaluación formal del riesgo de sesgo propia de revisiones sistemáticas; se exponen limitaciones de generalización y madurez tecnológica de las soluciones y omisiones de literatura no indexada o en otros idiomas.

Con ánimo de producir reproducibilidad, se incluyen el registro de consultas y filtros, las ecuaciones de búsqueda, la relación de decisiones de inclusión/exclusión y la matriz de extracción; ellos permiten replicar el procedimiento y contrastar

la coherencia del $n = 40$ en el cuerpo del ensayo.

Desarrollo argumentativo

Para poder explicitar la evolución teórica y evitar la ruptura que puede parecer que existe entre los enfoques más “clásicos” y los desarrollos más recientes del argumento, se reorganiza la construcción argumentativa, siguiendo en su redacción un hilo histórico-conceptual, el que permite relacionar las prácticas manuales de las formas de gestionar el talento en obra con su gradual digitalización

Ante el incremento en la adopción de IA y macrodatos, resulta relevante señalar que, en la etapa pre-digital, la gestión del trabajo, la seguridad y la formación se apoyaban en la ejecución manual, la observación directa y mecanismos sancionatorios oficiosos. En paralelo, la evaluación del desempeño profesional se fundamentaba en diarios de obra y

controles de avance con limitada trazabilidad.

La primera transición está relacionada con la llegada de sistemas de registro electrónico, bases de datos operativas y BIM que permitieron estandarizar lenguajes y aumentar la auditabilidad. La etapa actual incluye elementos como la visión por computadora, sensores de proximidad y técnicas de aprendizaje automático, para interconectar información de productividad, información de seguridad e información de ergonomía dentro de ciclos de decisiones más cortos y más medibles (Di Prima *et al.*, 2024; Ghimire *et al.*, 2024; Lim *et al.*, 2024; Mokhlespour Esfahani *et al.*, 2024; Sadatnya *et al.*, 2023; Zani *et al.*, 2024).

Con esta evolución el papel de la teoría del flujo del talento en la construcción deja de ser un elemento accesorio de la supervisión tradicional para pasar a ser una condición de posibilidad. Lo que se sostenía en los

pilares de la supervisión presencial y de la formación por respuesta deja de ser defendible y se integra con marcos de competencias, procedimientos de análisis de tareas y métricas de adopción que dan orden a la relación entre datos, decisiones y resultados.

Con ello convergen los aportes de una reciente sistematización de la transformación digital y el cambio organizacional en la construcción que afianzan este entendimiento a la vez que manifiestan que la eficacia de las herramientas analíticas depende de mecanismos estables de gobernanza, de roles "traductores" entre obra y analítica y de ciclos de mejora continua (Adebayo *et al.*, 2025; Papadonikolaki *et al.*, 2025).

Para reducir redundancias y aumentar la precisión del texto, consolidando así los argumentos, se ordenan en cuatro pasajes congruentes con su recorrido histórico y con la articulación conceptual. Primero, productividad: de

estimaciones a partir de diarios a modelos predictivos de rendimientos y desviaciones respecto del plan, con validaciones explícitas y uso operativo de esas predicciones, en las asignaciones diarias (Sadatnya *et al.*, 2023).

Segundo, seguridad: de lista de cotejo y observaciones puntuales a detecciones automatizadas de incumplimientos de EPP, zonas de ausencia de seguridad y cuasi-incidentes, con protocolos de respuesta y medición de severidad y tiempos de reacción (Lim *et al.*, 2024; Zani *et al.*, 2024).

Tercero, programación: de secuencias heurísticas a optimización y al aprendizaje por refuerzo con análisis "qué pasaría si", que conecta recursos, riesgos y metas de hito (Di Prima *et al.*, 2024; Mokhlespour Esfahani *et al.*, 2024). Cuarto, ergonomía/fatiga: de evaluaciones esporádicas a su monitoreo mediante sensores y modelos probabilísticos

que cierran el ciclo entre medición y mitigación (Ghimire *et al.*, 2024).

Cada paso del manuscrito se reescribe utilizando frases más cortas, sujetos explícitos y verbos de acción para clarificar las relaciones de causalidad y supuestos.

Se articula el marco THO (Tecnológico–Humano–Organizacional) de forma explícita en esta trayectoria. En la dimensión tecnológica los estudios citados entregan modelos y dispositivos que expanden lo medible; la dimensión humana considera que el desempeño depende de competencias por rol, aceptación de las herramientas y reconfiguración de las prácticas de supervisión;

La dimensión organizacional señala que la adopción efectiva necesita reglas, responsabilidades y auditorías que conviertan “salidas de modelo” en decisiones recurrentes y trazables (Adebayo *et al.*, 2025; Papadonikolaki *et al.*, 2025).

Reescrito de esta forma, el argumento mantiene su hilo conductor: las prácticas clásicas de talento no desaparecen, sino que pueden hacerse medibles y escalables mediante analítica, siempre que la organización resuelva privacidad, sesgos y ciberseguridad como requisitos de diseño y no como anexos.

Cerrando la sección con orientación a agenda, se explicita que las ganancias observadas son dependientes de condiciones verificables, calidad y oportuno de los datos; entrenamiento diferencial por rol; protocolos de respuesta ante las alertas; y alineación de incentivos en función de metas de seguridad, productividad, programación y ergonomía.

El vínculo con el caso latinoamericano y panameño se sostiene como campo de prueba en tanto que allí coexisten capacidades avanzadas y brechas de gobernanza;

por ello, la solución pasa por proponer futuras investigaciones que contrasten las proposiciones del trabajo en diseños cuasi-experimentales y en métricas compartidas entre frentes y proyectos, que se transforman en evolución teórica que se refleje en resultados comparables y acumulables en el tiempo.

En esta parte se desarrolla el análisis de las herramientas de inteligencia artificial y macrodatos en la gestión del talento en las megaconstrucciones. La exposición se divide en subsecciones temáticas para hacerla más comprensible, comenzando con la explicación de cómo se van integrando estas tecnologías en los procesos de trabajo típicos de megaconstrucciones.

La gestión del talento en estos ámbitos no es solo algo administrativo, sino que cumple una función estratégica, que afecta directamente a la consecución del éxito del proyecto.

Todo esto se explica mediante los casos prácticos en los que las herramientas de inteligencia artificial procesan grandes volúmenes de información para llegar a resultados accionables como patrones de conducta laboral que se podían haber pasado por alto en las evaluaciones manuales;

También se trata el efecto sobre la toma de decisiones donde las aplicaciones de algoritmos predictivos permiten anticipar las necesidades de personal antes de que sean evidentes y se trate de una solución que vuelva a ser, en un sentido, proactiva para la gestión del talento.

Esta integración de la tecnología convierte la gestión convencional en una gestión que se va adaptando a variables imprevistas como las del tiempo, o la demanda imprevista de personal.

En la megaconstrucción, donde la coordinación de miles de operarios

es crítica, los macrodatos dan la posibilidad de evidenciar la eficacia del flujo de trabajo, entendida como la reducción de la ineficiencia de los trabajos y la contribución en la organización de una cultura de la mejora continua.

Por último, se explican ejemplos de uso en las distintas fases del proyecto, desde la planificación inicial hasta la del cierre, cómo las herramientas de IA y de macrodatos dan sentido a una gestión del talento más inclusiva y justa para los trabajadores.

Predicción de productividad

La productividad en la construcción es un indicador esencial para determinar si ha tenido éxito un proyecto; sin embargo, su estimación habitual está claramente mal definida y únicamente subjetiva. La inteligencia artificial, a través de modelos de aprendizaje automático, permite anticipar la productividad de los equipos a través de datos históricos y

tiempos actuales, ya que se responsabilizan de procesar los informes diarios elaborados para estimar la productividad de la mano de obra (Sadatnya *et al.*, 2023).

Estos modelos, parametrizados en relación con variables como el clima, la experiencia de los trabajadores o la disponibilidad de material, permiten obtener previsiones, apoyando la asignación de talentos. Otro avance lo constituye la obtención de datos cinemáticos para la valorización del trabajo de operarios, que tiene como base una red neuronal profunda para analizar los movimientos que efectúan y como consecuencia de su análisis estimar la eficiencia que presentan (Jacobsen *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2025).

Dentro de la megaconstrucción, que incorpora la interacción de miles de trabajadores, la obtención de macrodatos procedentes de la información recogida por sensores permite determinar los cuellos de

botella en la cadena de producción y la optimización de la distribución de tareas.

La Tabla 1 ilustra los métodos de IA usados para la predicción de la productividad en la construcción, se observa una relación sustancial entre buenos resultados, pero alto costo de poder computacional: altos índices para aprendizaje supervisado con datos etiquetados, las redes neuronales profundas muy buenas en obtener la no linealidad, requieren mucho poder computacional, el aprendizaje por refuerzo optimizando decisiones secuenciales, aunque lento para converger y los modelos bayesianos que, al incluir la incertidumbre, aumentan mucho la complejidad.

Tabla 1

Comparación de métodos de aprendizaje automático para predecir productividad en construcción

Método	Descripción principal	Ventajas	Limitaciones	Referencias
Aprendizaje supervisado	Usa datos etiquetados para predecir resultados.	Alta precisión en conjuntos de datos grandes.	Requiere datos de entrenamiento extensos.	(Sadatnya <i>et al.</i> , 2023)
Redes neuronales profundas	Analiza patrones complejos en datos cinemáticos.	Maneja variables no lineales efectivamente.	Alto costo computacional.	(Jacobsen <i>et al.</i> , 2023)
Aprendizaje por refuerzo profundo	Optimiza decisiones secuenciales.	Adaptable a entornos dinámicos.	Lento en convergencia inicial.	(Yao <i>et al.</i> , 2024)
Modelos bayesianos	Incorpora incertidumbre en predicciones.	Robusto ante datos incompletos.	Complejidad en calibración.	(Zhang <i>et al.</i> , 2025)

Nota. La Tabla 1 ilustra una comparación entre los diferentes métodos de aprendizaje automático aplicados en la predicción del rendimiento en la construcción. Elaboración a partir de Sadatnya *et al.*, (2023), Jacobsen *et al.* (2023), Yao *et al.*, (2024) y Zhang *et al.*, (2025).

Esta tabla muestra cómo los métodos son diferentes en cuanto a aplicabilidad usando el aprendizaje supervisado como el mejor para la predicción que se basa en informes históricos y las redes neuronales porque son buenas para lo que es el análisis de los movimientos en sitio.

En las megaconstrucciones, la elección depende del volumen de datos disponibles para una gestión del talento de mejor calidad y más proactiva.

Gestión de seguridad

La seguridad tiene máxima prioridad en las megaconstrucciones donde el costo humano y económico de este tipo de accidentes es grande. La visión artificial, una técnica dentro de la inteligencia artificial es una metodología que permite el control sobre las obras y la detección de riesgos en tiempo real (Lee & Lee, 2023; Xu *et al.*, 2023).

La instalación de cámaras y el uso de algoritmos permiten detectar incumplimientos de medidas como el uso del equipo de protección personal (EPP), informando a los supervisores (Gong *et al.*, 2025; Hou *et al.*, 2023).

La gestión de macrodatos permite recopilar información de

varias fuentes como los reportes de incidentes y clasificar automáticamente los riesgos mediante técnicas de aprendizaje automático (Bugalia *et al.*, 2022). En las megaconstrucciones, estos sistemas ayudan a reducir los resultados falsos positivos mediante análisis temporales (Zaidi *et al.*, 2024).

De la misma forma, la fusión de datos multimodales como los que se obtienen a partir de señales fisiológicas permite la detección de la fatiga en los trabajadores (Umer *et al.*, 2025; Wang *et al.*, 2024).

Programación y asignación de recursos

La programación en las megaconstrucciones implica la distribución más eficiente del personal, utilizando habilidades y disponibilidad como determinantes. El aprendizaje por refuerzo profundo permite generar horarios de manera automática, disminuyendo costos y aumentando la eficiencia (Yao *et al.*, 2024).

Se utilizan modelos fundados en inteligencia artificial para simular escenarios permitiendo la asignación de módulos prefabricados en la realización de la reconstrucción tras desastres (Deria *et al.*, 2024a).

En configuraciones de problemas de múltiples objetivos (e.g. equilibrio entre carga de trabajo y rendimiento) se emplean algoritmos para optimizar las líneas de producción modular (Deria *et al.*, 2024b; Hyun *et al.*, 2021).

Los macrodatos de proyectos pasados permiten la toma de decisiones para disminuir las pérdidas de productividad entre oficios (Elbashbishy & El-Adaway, 2025). Esta tecnología convierte la gestión del talento en un proceso dinámico y adaptado.

La Tabla 2 recoge tanto las ventajas como los problemas de la inteligencia artificial en la gestión del talento en las megaconstrucciones. Esta tabla aporta un punto de vista

equilibrado para los tomadores de decisiones en la industria.

Tabla 2

Beneficios y desafíos de la inteligencia artificial en la gestión del talento

Aspecto	Beneficios	Desafíos	Ejemplos en construcción	Referencias
Predicción productividad	Mejora en estimaciones precisas.	Dependencia de datos de calidad.	Análisis de informes diarios.	(Lim <i>et al.</i> , 2024)
Optimización programación	Eficiencia en asignación de personal.	Complejidad algorítmica.	Horarios automáticos en módulos.	(Al-Sinan <i>et al.</i> , 2024)
Evaluación de la ergonomía	Prevención de lesiones crónicas.	Integración de dispositivos visibles costosa.	Redes bayesianas para riesgos.	(Tao <i>et al.</i> , 2023)

Nota. Elaboración a partir de Lim *et al.* (2024), Rabbi y Jeelani (2024), Al-Sinan *et al.* (2024) y Tao *et al.* (2023).

La Tabla 2 contiene un resumen de los pros y los contras de la aplicabilidad de la IA a la gestión del talento: estimaciones de la productividad más mantenidas, menos accidentes, programación optimizada; y en cuanto a los riesgos de la operativa, la calidad de los datos, la privacidad y la complejidad algorítmica.

Esta tabla clarifica las compensaciones subyacentes al mostrar que, si los pros muestran ciertas mejoras cuantificables en la eficiencia, los contras implican inversiones en formación y ética. En las megaconstrucciones, saber equilibrar estos aspectos es fundamental para establecer una gestión sostenible en el tiempo del talento.

Monitoreo de fatiga y ergonomía

El agotamiento y los riesgos ergonómicos inciden en el rendimiento del trabajo en las megaconstrucciones, pues las largas jornadas laborales, así como la repetición de las actividades pueden dar lugar a lesiones crónicas y a la disminución del rendimiento.

La inteligencia artificial permite la detección de la fatiga en tiempo real a partir de señales fisiológicas como el ritmo cardíaco y los patrones de movimiento que permiten llevar a cabo medidas preventivas y predecir

accidentes fomentando el bienestar general de los operarios (Umer *et al.*, 2025).

Estos sistemas de inteligencia artificial son capaces de aplicar el aprendizaje profundo para el tratamiento de datos obtenidos con dispositivos vestibles, tomando en consideración las variables ambientales como la temperatura y la humedad que pudieran ser responsables en la exacerbación de la fatiga.

Por lo que respecta a las redes bayesianas, éstas permiten la evaluación de los riesgos ergonómicos de forma individual y de forma proyectual, integrando evidencia borrosa a partir de probabilidades de lesión en función de posturas laborales y cargas físicas (Tao *et al.*, 2023).

En grandes obras en las que el trabajador se vea obligado a ejecutar tareas de esfuerzo en relación con el

levantamiento de materiales pesados, dicha evaluación de rutina permite el ajuste de la asignación de tareas para limitar el tiempo de exposición a los riesgos.

La realidad virtual acompañada con captura del movimiento simula los prototipos de estaciones de trabajo de prefabricación no in situ, en una práctica conciliada de la ergonomía previa al uso real de la estación, evitando las costosas correcciones (Barkokebas *et al.*, 2022).

Los macrodatos aportan un papel determinante al agrupar las dosis de información obtenida para proyectos análogos, facilitando las determinaciones relacionadas con la fatiga estacional o el retorno basado en turnos, lo que permite una planificación integral y adaptativa de la fuerza laboral (Tao *et al.*, 2025).

En megaproyectos de construcción, como represas con trabajos bajo tierra o túneles en los

cuales el impacto de la carga de trabajo se magnifica, la asignación de tareas en relaciones laborales propias todavía en las primeras fases del ciclo o según el ciclo de trabajo de las tareas llevan a una rotación en la asignación de equipos procedimientos y trabajador basado en datos, de tal manera que garantizamos la equidad y la retención del talento.

Finalmente, esta rama de la inteligencia artificial de la gestión del talento está representado en el trabajo preventivo que hace que la práctica profesional de los operarios se esté duplicando poco a poco en el tiempo de vida de la obra a la par de los proyectos sostenibles.

Evolución y adopción

Las transformaciones de la inteligencia artificial aplicada a la construcción se extienden desde aplicaciones simples en tareas de mantenimiento y comunicación hasta una elevada aplicación en las áreas de productividad y seguridad, dando

lugar a más de diez años de transformaciones que han cambiado radicalmente la forma en la que se ejecutan los proyectos (Mai *et al.*, 2024).

Estas tecnologías inicialmente se restringían a la ejecución de tareas simples de análisis de datos estables; sin embargo, en consonancia con el nacimiento de los macrodatos, se ha venido imponiendo un contexto de datos que subyace prácticamente en cualquier aspecto de la gestión de proyectos (Lim *et al.*, 2024).

En las megaconstrucciones, esta evolución significa el diseño de organizaciones adaptadas hacia el dominio digital, en el que el diseño organizativo toma en cuenta la propia fusión de las herramientas con el talento humano (Zani *et al.*, 2024).

Sin embargo, desde la adopción hay barreras que pueden restar oportunidades perdidas, haciendo referencia a revisiones

donde se muestra la necesidad de un marco PRISMA para mostrar el impacto (Regona *et al.*, 2022).

La inteligencia artificial generativa, especialmente con modelos basados en texto, tiene un gran futuro para la planificación, pero genera preguntas sobre cómo integrar prácticas éticas en la vida de la industria (Ghimire *et al.*, 2024).

Revisiones estructuradas dan lugar a tendencias futuras, o hacia terceros, como aplicaciones híbridas donde el pasado se modela en la inteligencia artificial con la gestión de proyectos tradicionales (Adebayo *et al.*, 2025). Fomentar el talento con competencias digitales es fundamental, será una palanca para forjar y nutrir a los profesionales líderes en las transformaciones del proyecto (Obi *et al.*, 2025; Papadonikolaki *et al.*, 2025).

También en la selección del superintendente para las tecnologías

emergentes, la analítica de personas puede optimizar las competencias fundamentales y será posible un éxito organizativo (Mokhlespour Esfahani *et al.*, 2024). La analítica de personas, en auge, será el modelo basado en las predicciones de los recursos humanos para estimular la creatividad (Di Prima *et al.*, 2024; Polzer, 2022).

En las megaconstrucciones, la inversión en formación debe ser continua y acompañarse de marcos de regulación que garanticen que la adopción no sea únicamente tecnológica, sino también inclusiva y sostenible en el tiempo.

Casos en Panamá y viabilidad de adopción

Esta sección presenta ejemplos de megaconstrucción en Panamá y las potenciales aplicaciones que la inteligencia artificial (IA) y los macrodatos nos pueden ofrecer. La Línea 3 del Metro, con excavación mediante obra compleja es un entorno propicio para gemelos digitales de avance, analítica de los sensores para

el mantenimiento predictivo, y visión por computadora orientada hacia la seguridad como por ejemplo a la seguridad en frente de excavación y en patios de anclaje (Al-Sinan et al., 2024; Daniel *et al.*, 2025; Jahangir *et al.*, 2024).

El Cuarto Puente sobre el Canal permite a su vez aplicaciones de aprendizaje automático en optimización de secuencias de izaje y de montaje, control de calidad automatizado de elementos prefabricados por visión, y modelos de riesgo operativo en situaciones de viento y logística.

El Programa Hídrico del Canal (incluido el aprovechamiento de cuencas como la del Río Indio), es un programa que permite predicción hidrológica multimodal, optimización de las reglas de operación mediante aprendizaje por refuerzo y redes bayesianas, y redes de sensores para caudales y calidad de agua.

El Corredor de las Playas introduce la simulación de tráfico y analítica de movilidad a partir de macrodatos para la fase de construcción y operación, detección automática de incidentes, y priorización de las medidas de seguridad vial mediante modelos causales;

La ampliación y operación del Aeropuerto de Tocumen precisa analítica de flujos de pasajeros, asignación dinámica de recursos con aprendizaje automático, visión por computadora para la seguridad operacional, y mantenimiento predictivo de sistemas HVAC y pasarelas (ACP, 2025; La Prensa, 2025; Tocumen S.A., 2025).

La viabilidad de adopción tecnológica en Panamá requiere operadoras con cultura de datos y activos críticos (ACP, Metro de Panamá, empresas de autopistas y aeropuertos) haciendo cada vez más pequeñas las barreras de entrada y

además permite hacer pilotos con métricas claras de productividad y seguridad; la cartera de proyectos 2025-2028 permite tener una masa crítica para estandarizar los casos de uso, lo que a su vez permite escalar si se demuestran beneficios replicables.

Las barreras en gobernanza de datos y competencias digitales van a seguir existiendo y continuarán existiendo requisitos de compras públicas. Replanteamientos de este tipo de barreras se realizarán mediante cláusulas contractuales de entrega y calidad de la fuente de datos, programas de perfeccionamiento de habilidades por roles formativos con universidades y gremios de especialidad y los pliegos, protocolos, pruebas de robustez y de ciberseguridad.

Un recorrido posible es el de los pilotos de 3 a 6 meses en los cuatro frentes siguientes; mantenimiento predictivo en equipos críticos, visión por computadora para seguridad y

para EPP, gemelos digitales para escenarios tipo “qué pasaría si” en el caso de programación, y analítica hidrológica apoyada por modelos de aprendizaje automático en el caso de la operación de embalses.

Aporte teórico original: marco THO (Tecnológico-Humano-Organizacional)

La idea principal que se pretende expresar es que la adopción efectiva de IA en las megaconstrucciones depende de bucles sinérgicos entre tres dimensiones. La dimensión tecnológica, que engloba IA, macrodatos, máquina de aprendizaje, gemelos digitales, optimización y visión por computadora.

La dimensión humana, que contiene la gestión del talento, productividad, salud y competencias digitales. La dimensión organizacional, que integra una cultura de datos, gobernanza del dato, toma de decisiones y sostenibilidad.

De estas premisas se derivan cinco relaciones causales que son operativas: (H1) la tecnología incrementa la productividad y disminuye los incidentes en la medida que existen los datos etiquetados y una experiencia de usuario alineada con el flujo de obra; (H2) el refuerzo de competencias mejora la calidad del dato, al tiempo que reduce el ciclo de mejora de los modelos; (H3) un tipo de cultura que es de datos y la gobernanza del dato habilitan un marco de despliegues que son repetibles y confiables; (H4) el liderazgo y los incentivos permiten sostener la adopción y la retención de competencias; (H5) los resultados cuantificados alimentan las decisiones de inversión y de estandarización propia de la empresas.

H1–H5 se reetiquetan explícitamente como “proposiciones para la investigación futura” y no se muestran como hipótesis contrastadas en este ensayo, sino como afirmaciones plausibles que emergen

del marco teórico THO cuya verificación requiere diseños empíricos concretos. Cada proposición debe ser sometida a prueba a partir de protocolos con variables operativas claras, fuentes de datos especificadas, línea base marcada y análisis causal explícito.

Desde el punto de vista metodológico, se va a aplicar un marco más o menos común: definición del resultado primario y de la unidad de análisis (frente, turno, cuadrilla o actividad); definición de líneas base y de ventanas temporales comparables (períodos de 4 a 12 semanas antes y después de la intervención, por ejemplo); trazabilidad de los datos con/o mediante bitácoras, sensores, video, registros de control de calidad, cronogramas y partes de producción;

Aplicación de diseños cuasiexperimentales apropiados como, por ejemplo: diferencias-en-diferencias, series temporales interrumpidas; control de factores de

confusión relevantes (complejidad de la actividad, condiciones meteorológicas, experiencia del equipo de trabajo, subcontratación) y análisis de sensibilidad; y reporte conjunto de métricas de adopción y de calidad de datos, además de los resultados técnicos, para justificar la atribución de efectos.

La operacionalización de H1 apunta a seguridad; pone de relieve el efecto de la analítica y de la visión por computadora sobre el desempeño preventivo; se medirán la tasa de incidentes registrables por 200 000 horas-hombre, la frecuencia de cuasi-accidentes, la tasa de cumplimiento de EPP detectadas automáticamente y validadas mediante muestreo, el tiempo reaccionando frente a alertas o la severidad promedio. H2 se relaciona con la productividad, enfocado en evaluar en qué medida son capaces los modelos de predecir y mejorar los rendimientos; se medirán la productividad por actividad —

Por ejemplo, los metros cúbicos por hora, las toneladas por día—, el desvío respecto al plan a través del PPC, el ahorro en horas-hombre y el MAE/RMSE de la predicción frente a la línea base manual. H3 trata de programación y obtiene la evaluación de la optimización o del RL en cronogramas; se evaluarán la adherencia para los hitos, la variación de duración y costos indirectos (los de la holgura crítica utilizada y los de reprocesos por secuenciación).

H4 explora la ergonomía y la fatiga, poniendo énfasis en la reducción de la exposición y de las cargas; se evaluarán índices ergonómicos de forma auditada mediante RULA o REBA, detección de episodios de fatiga, rotación de tareas, pausas efectivas, reportes musculoesqueléticos.

H5 explora la gobernanza de datos y la adopción organizacional; se evaluarán calidad de los datos (completitud, puntualidad y

consistencia), tasa de adopción por el rol, uso efectivo de tableros y alertas, cumplimiento por políticas de privacidad y retención, y la prevalencia de incidencias de ciberseguridad.

Para todas las proposiciones se especificarán fuentes de información (diarios de obra, sensores portátiles, cámaras fijas, CMMS, cronogramas, partes de producción y de seguridad), criterios de validación cruzada (por ejemplo, la concordancia entre la detección automática del EPP y auditorías humanas), tamaños muestrales mínimos, así como supuestos de potencia estadística y umbrales de éxito predefinidos en forma ejemplar (reducción igual o superior a 15% en cuasi-accidentes, incremento igual o superior al 10% en PPC o reducción igual o superior al 20% en exposición ergonómica).

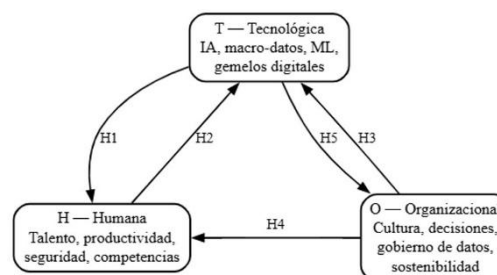
El informe distinguirá en un formato sistemático resultados técnicos (de los modelos) de resultados organizativos (de la

adopción, la formación y la gobernanza) en coherencia con la postura del marco THO.

La Figura 1 describe un triángulo de interacción continua, donde la dimensión tecnológica es impulsada por la humana y se apoya en la organizacional, la dimensión humana mejora la calidad de la operativa de la dimensión tecnológica y la dimensión organizacional cierra el ciclo fijando reglas, metas de sostenibilidad y mecanismos de aprendizaje institucionales.

Figura 1

Esquema conceptual THO



Nota. Con base en la propuesta conceptual THO se elabora la Figura 1, donde se da la interacción entre la dimensión tecnológica (inteligencia artificial, macrodatos y aprendizaje automático) y la dimensión humana (gestión del talento, productividad, seguridad y competencias) y con la dimensión organizacional (cultura, toma

de decisiones y sostenibilidad) y el ciclo de retroalimentación entre ambas dimensiones o entre la dimensión organizacional y la dimensión tecnológica.

Relación de THO con literatura existente

El marco de referencia THO (Tecnológico-Humano-Organizacional) hace sinergia o dialoga con las tres corrientes ya presentes en la literatura de partida y las integra en un mismo plano analítico aplicado a las megaconstrucciones.

A partir de la productividad, los trabajos que implementan aprendizaje automático y aprendizaje profundo para estimar rendimientos a partir de diarios de obra, señales y contexto son la dimensión Tecnológica de este marco, pero sus resultados, a su vez, necesitan de rutinas y capacidades del equipo —la dimensión Humana— y, de procedimientos formales para integrar predicciones dentro de la toma de decisiones —la dimensión Organizacional—;

En este sentido, el THO ofrece la estructura para hacer pasar modelos aislados a mejoras operativas medibles (Sadatnya *et al.*, 2023). En el ámbito de la seguridad, los avances tanto en visión por computadora como en fusión de datos permiten detectar incumplimientos de EPP, áreas de peligro y cuasi-incidentales.

Siendo que el grado de rendimiento que puedan lograr en este sentido se puede ver condicionado por la adopción que el personal en campo realice de ellos y por los protocolos de respuesta y de gobernanza de datos que institucionalicen el uso de alertas y auditorías; lo que queda claro que sitúa los hallazgos de los estudios realizados hasta el momento de esta manera en una lectura de la THO: tecnología eficaz, competencias y cultura de la seguridad, y procesos estandarizados para cerrar las brechas (Lim *et al.*, 2024; Zani *et al.*, 2024).

En el contexto de programación y asignación de recursos, las propuestas que integran optimización y aprendizaje por refuerzo pueden tener un potencial importante en lo que se conoce como "qué pasaría sí" y en secuenciación; THO esboza el por qué aquello solo se alimenta de unos traductores entre la obra y la analítica, del flujo de datos/calidad y de reglas organizacionales que permitan que las políticas aprendidas existan como prácticas de planificación auditables y aceptadas (Di Prima *et al.*, 2024; Mokhlespour Esfahani *et al.*, 2024).

La dimensión Humana de THO se nutre de los estudios de ergonomía y fatiga que usan sensores y modelos probabilísticos: el valor va más allá del potencial de los algoritmos, el valor emerge de las políticas de mitigaciones, de la formación estandarizando por rol y de la retroalimentación continua a las cuadrillas y al equipo de supervisores que permiten con ello cerrar el ciclo

entre medición, aprendizaje y cambio conductual (Ghimire *et al.*, 2024).

En gobernanza y ética de datos, las aportaciones que advierten de sesgos, privacidad o trazabilidad muestran que los resultados técnicos requieren de salvaguardas organizacionales para ser sostenibles; THO confluye en estas salvaguardas y las traduce como condiciones de diseño organizacional (políticas de minimización, anonimización, auditorías, y métricas de equidad) que además pueden preparar el alineamiento del desempeño de los modelos con el de legitimidad social y conformidad normativa (Adebayo *et al.*, 2025).

Finalmente, los estudios sobre transformación digital, así como la organización en construcción ayudan a situar a THO como andamiaje que conecta proyectos de datos/IA con capacidades, roles y procesos, favorece las rutas de adopción por

etapas y métricas de resultados y de madurez (Papadonikolaki *et al.*, 2025).

En sus latitudes latinoamericanas y panameñas con operadores con cultura de activos críticos y de datos el marco permite traducir hallazgos técnicos como pilotos con posibilidades de institucionalización y escalabilidad dentro de carteras de proyectos y salvaguardar el encadenamiento de desempeño tecnológico, competencias del personal y mecanismos organizacionales de decisión (Autoridad del Canal de Panamá, 2025; Tocumen S.A., 2025; La Prensa, 2025).

Conclusiones

Este texto demostró que la integración de las tecnologías de IA y macrodatos en el ámbito de las megaconstrucciones puede traducirse en beneficios tangibles desde los ámbitos de la productividad, la seguridad, la programación y la ergonomía, aunque la promesa

tecnológica que estas tecnologías conllevan no es lineal ni universal.

Se consideró una postura prudente que contrasta con las posiciones que priorizan la adopción rápida debido a su "eficiencia ya demostrada" y que destaca la gobernanza de datos, la equidad algorítmica y la madurez organizacional.

En los escenarios donde hay datos accesibles, estándares claros para su interpretación y equipos muy entrenados, los modelos producen mejoras sostenidas; sin embargo, en aquellos escenarios donde datos rotan, abunda la subcontratación y se produce una elevada rotación de personal, los modelos ofrecen mejoras medianas, riesgos de sesgo y costos ocultos de integración.

De forma resumida, no existe el dilema de adoptar o no adoptar; el dilema es entre diseños institucionales que habilitan valor y despliegues muy

veloces donde la externalización de los riesgos puede salpicar a las megaconstrucciones.

La síntesis crítica indica que existen como tales algunas ventajas, cuando la analítica de datos se introduce en ciclos de toma de decisiones operativos: puede haber predicciones de desempeño con un error limitado, reducir el número de incidentes y cuasi-incidentes, aumentar la adherencia a los hitos y reducir la carga ergonómica;

La contrapartida de estas ventajas no es trivial: existen problemas de privacidad y trazabilidad en flujos de vídeos y en biometría, sesgos del proceso de entrenamiento que pueden penalizar ciertos oficios o turnos, el clima laboral puede verse alterado si la vigilancia es interpretada como punitiva, y existe la posible exposición a cibramenazas a ciertas arquitecturas de nube.

Un equilibrio responsable implica la implementación de

elementos como pruebas piloto con métricas de producto y de adopción, umbrales de éxito explícitos, auditorías independientes, mecanismos de rendición de cuentas que eviten la "tecnificación" sin legitimidad.

El marco de referencia THO aportó un cierre conceptual que pone en conexión el desempeño tecnológico, las capacidades humanas y los arreglos organizacionales. Al reescribir los hallazgos que se han producido sobre THO se muestra cómo los mejores grados de recursos de carácter técnico suelen darse a la vez en los momentos en que existen procesos y roles que absorben información (traductores entre ella y el conjunto de datos, protocolos de respuesta ante alertas, gobernanza de modelos) y donde el personal cuenta con formación y participación en el diseño de herramientas.

La aportación teórica estriba en mostrar cómo la efectividad (de la IA y los macrodatos en obra) es una propiedad sistémica: que las tecnologías precisas sin la adopción humana y las reglas de la organización producen beneficios débiles; identidades y procesos sin herramientas analíticas limitan el potencial de mejora. THO, en definitiva, no solo organiza evidencias, sino que prescribe la manera en la que debe realizarse el diseño para escalar con legitimidad y resiliencia.

Las conclusiones de la parte práctica dirigida a gestores y responsables de políticas pasan por priorizar pilotos orientados a contratos y con cláusulas de datos explícitas, por invertir en competencias particulares de cada rol, por poner en marcha salvaguardias de privacidad y de equidad en cuanto al diseño y por medir, junto a las métricas técnicas, la calidad de los datos y el nivel de adopción en las organizaciones.

En la cartera o carteras nacionales o regionales, lo anterior puede concretarse en guías de madurez que condicionen el escalamiento a las evidencias que puedan ser verificables en el tiempo, asegurando la sobriedad respecto a la dependencia de proveedores, pero también incentivando capacidades locales.

Con respecto a la futura investigación, se propone comprobar las proposiciones H1–H5 en entornos latinoamericanos y, priorizando, en el panameño; lo que implica configuraciones cuasiexperimentales con líneas de base comparables, medición de incidentes y cuasi-incidentes, cumplimiento de los EPP, productividad por actividad, desempeño de programación, calidad de los datos y tasas de adopción por rol; así como seguir realizando análisis de heterogeneidad por tipo de obra, régimen contractual y estructura de la subcontratación.

La agenda recomendada implica, por tanto, estudios de transferencia tecnológica entre proyectos, estudios de costo-efectividad y análisis de los impactos distributivos sobre cuadrillas y subcontratas.

Este trabajo presenta las limitaciones propias de un ensayo de revisión narrativa estructurada, es decir, no lleva a cabo una síntesis cuantitativa de efectos ni puede considerarse formalmente una evaluación del riesgo de sesgo. Pero sí proporciona una estructura conceptual y metodológica para orientar decisiones y para concebir evaluaciones rigurosas que permitan transitar de promesas a resultados reproducibles.

La conclusión es contundente: la creación de valor con IA y macrodatos no depende solo de tener "mejores modelos", sino también de una alineación, tal como se argumentó en THO, de tecnologías fiables,

personas capacitadas y organizaciones dispuestas a aprender, auditar y corregir.

Conflicto de interés

El autor afirma que no existen conflictos de interés en lo que respecta la investigación, la autoría y la publicación de este ensayo.

Fuentes de financiamiento:

No hubo financiamiento externo, ni interno para la realización de este trabajo.

Disponibilidad de datos:

No corresponde. Este manuscrito corresponde a un ensayo con revisión narrativa estructurada y/o no genera ni utiliza conjuntos de datos originales.

Nota de ética:

No se trabajó con datos personales ni con participantes humanos; el ensayo corresponde a la discusión de implicaciones éticas de tecnologías en obra.

Referencias

- Adebayo, Y., Udoh, P., Kamudyariwa, X. B., & Osobajo, O. A. (2025). Artificial intelligence in construction project management: A structured literature review of its evolution in application and future trends. *Digital*, 5(3), 26. <https://doi.org/10.3390/digital5030026>
- Al-Sinan, M. A., Bubshait, A. A., & Aljaroudi, Z. (2024). Generation of construction scheduling through machine learning and BIM: A blueprint. *Buildings*, 14(4), 934. <https://doi.org/10.3390/buildings14040934>
- Autoridad del Canal de Panamá. (2025, 7 de julio). *Canal de Panamá pone en marcha proyectos para el desarrollo sostenible en cuenca de río Indio*. <https://pancanal.com/canal-de-panama-pone-en-marcha-proyectos-para-el-desarrollo-sostenible-en-cuenca-de-río-indio/>
- Barkokebas, R. D., Al-Hussein, M., & Li, X. (2022). VR–MOCAP-enabled ergonomic risk assessment of workstation prototypes in offsite construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(8), 04022064. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002319](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002319)
- Bugalia, N., Tarani, V., Kedia, J., & Gadekar, H. (2022). Machine learning-based automated classification of worker-reported safety reports in construction. *Journal of Information Technology in Construction*, 27, 926–950. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.045>
- Corral, F., Forcael, E., & Linfati, R. (2023). Workforce scheduling efficiency assessment in construction projects through a multi-objective optimization model in the COVID-19 context. *Heliyon*, 9(6), e16745. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16745>
- Daniel, E. I., Oshodi, O. S., Nwankwo, N. I., Emuze, F. A., & Chinyio, E. (2025). The use of digital technologies in construction safety: A systematic review. *Buildings*, 15(8), 1386. <https://doi.org/10.3390/buildings15081386>
- Deria, A., Lee, Y.-C., & Ghannad, P. (2024a). Deep reinforcement learning–based optimization for crew allocation in modular building prefabrication. In J. S. Shane, K. M. Madson, Y. Mo, C. Poleacovschi, & R. E. Sturgill (Eds.), *Advanced technologies, automation, and computer applications in construction* (pp. 1317–1326). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784485262.134>
- Deria, A., Ghannad, P., & Lee, Y.-C. (2024b). Dynamic real-time optimization of modular unit allocation to off-site facilities in postdisaster reconstruction using deep reinforcement learning. *Journal of Management in Engineering*, 40(4), 04024021. <https://doi.org/10.1061/JMENEAE.MEE-NG-5900>
- Di Prima, C., Cepel, M., Kotaskova, A., & Ferraris, A. (2024). Help me help you: How HR analytics forecasts foster organizational creativity. *Technological Forecasting and Social Change*, 206, 123540. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123540>
- Elbashbisy, T., & El-Adaway, I. H. (2024). Skilled worker shortage across key labor-intensive construction trades in union versus nonunion environments. *Journal of Management*

- in *Engineering*, 40(1), 04023063.
<https://doi.org/10.1061/JMENEAE.MEE-NG-5649>
- Elbashbishy, T., & El-Adaway, I. H. (2025). Labor productivity losses across construction trades: A machine learning approach. *Journal of Management in Engineering*, 41(5), 04025043.
<https://doi.org/10.1061/JMENEAE.MEE-NG-6671>
- Ghimire, P., Kim, K., & Acharya, M. (2024). Opportunities and challenges of generative AI in construction industry: Focusing on adoption of text-based models. *Buildings*, 14(1), 220.
<https://doi.org/10.3390/buildings14010220>
- Gong, Y., Seo, J., Kang, K.-S., & Shi, M. (2025). Automated recognition of construction worker activities using multimodal decision-level fusion. *Automation in Construction*, 172, 106032.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106032>
- Hou, X., Li, C., & Fang, Q. (2023). Computer vision-based safety risk computing and visualization on construction sites. *Automation in Construction*, 156, 105129.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105129>
- Hyun, H., Yoon, I., Lee, H. S., Park, M., & Lee, J. (2021). Multiobjective optimization for modular unit production lines focusing on crew allocation and production performance. *Automation in Construction*, 125, 103581.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103581>
- Jacobsen, E. L., Teizer, J., & Wandahl, S. (2023). Work estimation of construction workers for productivity monitoring using kinematic data and deep learning. *Automation in Construction*, 152, 104932.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104932>
- Jahangir, M. F., Schultz, C. P. L., & Kamari, A. (2024). A review of drivers and barriers of digital twin adoption in building project development processes. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 141–178.
<https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.008>
- La Prensa. (2025, 18 de septiembre). *Homologación del proyecto de ampliación del Corredor de las Playas reúne a más de 40 empresas*.
<https://www.prensa.com/sociedad/homologacion-del-proyecto-de-ampliacion-del-corredor-de-las-playas-reune-a-mas-de-40-empresas/>
- Lee, J., & Lee, S. (2023). Construction site safety management: A computer vision and deep learning approach. *Sensors*, 23(2), 944.
<https://doi.org/10.3390/s23020944>
- Lim, Y. T., Yi, W., & Wang, H. (2024). Application of machine learning in construction productivity at activity level: A critical review. *Applied Sciences*, 14(22), 10605.
<https://doi.org/10.3390/app142210605>
- Mai, T. G., Nguyen, M., Ghobakhlou, A., Yan, W. Q., Chhun, B., & Nguyen, H. (2024). Decoding a decade: The evolution of artificial intelligence in security, communication, and maintenance within the construction industry. *Automation in Construction*, 165, 105522.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105522>
- Mokhlespour Esfahani, M., Khanzadi, M., Hasanzadeh, S., Moradi, A., Martek, I.,

- & Banihashemi, S. (2024). Unlocking organizational success: A systematic literature review of superintendent selection strategies, core competencies, and emerging technologies in the construction industry. *Sustainability*, 16(24), 11106. <https://doi.org/10.3390/su162411106>
- Obi, L. I., Osuizugbo, I. C., & Awuzie, B. O. (2025). Closing the artificial intelligence skills gap in construction: Competency insights from a systematic review. *Results in Engineering*, 27, 106406. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106406>
- Papadonikolaki, E., Liu, Y., Maritshane, K., & Chan, P. (2025). Nurturing data-savvy talent in digital transformation of projects. *Journal of Management in Engineering*, 41(4), 04025014. <https://doi.org/10.1061/JMENEAE.MEE-NG-6047>
- Polzer, J. T. (2022). The rise of people analytics and the future of organizational research. *Research in Organizational Behavior*, 42(Suppl.), 100181. <https://doi.org/10.1016/j.riob.2023.100181>
- Rabbi, A. B. K., & Jeelani, I. (2024). AI integration in construction safety: Current state, challenges, and future opportunities in text, vision, and audio-based applications. *Automation in Construction*, 164, 105443. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105443>
- Regona, M., Yigitcanlar, T., Xia, B., & Li, R. Y. M. (2022). Opportunities and adoption challenges of AI in the construction industry: A PRISMA review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1), 45. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010045>
- Sadatnya, A., Sadeghi, N., Sabzekar, S., Khanjani, M., Tak, A. N., & Taghaddos, H. (2023). Machine learning for construction crew productivity prediction using daily work reports. *Automation in Construction*, 152, 104891. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104891>
- Tao, Y., Hu, H., Xu, F., & Zhang, Z. (2023). Ergonomic risk assessment of construction workers and projects based on fuzzy Bayesian network and D-S evidence theory. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(6), 04023034. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COEN-12821>
- Tao, Y., Hu, H., Xu, F., & Zhang, Z. (2025). Ergonomic risk mitigation through workforce planning for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 151(4), 04025012. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COEN-15072>
- Tocumen S.A. (2025, 16 de octubre). *Aeropuerto Internacional de Tocumen supera los 15 millones de pasajeros y registra un alza del 8% hasta septiembre de 2025*. <https://www.tocumenpanama.aero/index.php/noticias?start=10>
- Umer, W., Mehmood, I., Qarout, Y., Antwi-Afari, M. F., & Anwer, S. (2025). Deep learning-based fatigue monitoring of construction workers using physiological signals. *Automation in Construction*, 177, 106356. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106356>
- Wang, M., Chen, J., & Ma, J. (2024). Monitoring and evaluating the status and behaviour of construction workers using wearable sensing technologies. *Automation in Construction*, 165,

105555.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105555>

Xu, Z., Huang, J., & Huang, K. (2023). A novel computer vision-based approach for monitoring safety harness use in construction. *IET Image Processing*, 17(4), 1071–1085.

<https://doi.org/10.1049/ipr2.12696>

Yao, Y., Tam, V. W. Y., Wang, J., Le, K. N., & Butera, A. (2024). Automated construction scheduling using deep reinforcement learning with valid action sampling. *Automation in Construction*, 166, 105622.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105622>

Zaidi, S. F. A., Yang, J., Abbas, M. S., Hussain, R., Lee, D., & Park, C. (2024). Vision-based construction safety monitoring utilizing temporal analysis to reduce false alarms. *Buildings*, 14(6), 1878.

<https://doi.org/10.3390/buildings14061878>

Zani, C. M., Denicol, J., & Broyd, T. (2024). Organisation design in megaprojects: A systematic literature review and research agenda. *International Journal of Project Management*, 42(6), 102634.

<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2024.102634>

Zhang, C., Mao, C., Liu, H., Liao, Y., & Zhou, J. (2025). Moving toward automated construction management: An automated construction worker efficiency evaluation system. *Buildings*, 15(14), 2479.

<https://doi.org/10.3390/buildings15142479>

El texto que se publica es de exclusiva responsabilidad de sus autores y no expresa necesariamente el pensamiento de la editorial de la Revista Iberoamericana de Innovación Científica JATAUIDA.



*Esta Obra Está bajo una Licencia internacional
Creative Commons Atribución – No Comercial – Compartir Igual 4.0*