

Predictive Modeling with Artificial Intelligence to Mitigate Variability and Cost Overruns in Andean Public Infrastructure

Carlos Magno Chavarry Vallejos, Doctor¹; Joaquín Samuel Támara Rodríguez, Doctor²; Liliana Janet Chavarria Reyes, Doctora(c)³; Elizabeth Clotilde Panana Holgado, Maestra⁴; Alicia Cristina Chiok Guerra, Doctora⁵; Julio Cesar Coral Jamanca, Maestro⁶; Jainer Eloy Solorzano Poma⁷

^{1,3,5} Universidad Ricardo Palma, Perú, carlos.chavarry@urp.edu.pe; liliana.chavarria@urp.edu.pe; alicia.chiok@urp.edu.pe; ^{2,4,6,7} Universidad Santiago Antúnez de Mayolo, Perú, jtamarar@unasam.edu.pe, epananah@unasam.edu.pe; jcoralj@unasam.edu.pe; jsolorzanop@unasam.edu.pe

Abstract. - This study sought to create a framework with Artificial Intelligence (AI) to address an urgent problem: the instability, unpredictability and high costs in the management of public infrastructure in the Andean region. To this end, a quantitative approach was adopted, analyzing 88 representative Peruvian state projects. The measurement tool used showed high reliability, ensuring the robustness of the data. The results are eye-opening and highlight two critical gaps. First, 76% of the works do not consider sustainability criteria in their execution. Second, and even more significantly, 88% lack any technological tool that allows predicting risks or optimizing resources. This double lack generates a vicious circle of risk and uncertainty, where cost overruns and unforeseen events are the norm, ultimately affecting the quality and impact of the infrastructure that reaches the communities. A significant correlation ($rs=0.78$) was demonstrated between the absence of machine learning models and the uncontrolled variability of costs and deadlines. It is concluded that the integration of AI is imperative to move towards precision engineering that prioritizes environmental protection and climate resilience under the framework of SINAGERD 2050. The main contribution lies in a decision-making support system capable of optimising resources, reducing the carbon footprint and ensuring compliance with international standards (ISO), consolidating technology as the axis of a symbiosis between industrial productivity and the preservation of ecosystems.

Keywords: Artificial Intelligence, Civil Engineering 4.0, Climate Resilience, Environmental Sustainability, Public Investment Management.

Modelado Predictivo con Inteligencia Artificial para Mitigar Variabilidad y Sobrecostos en Infraestructura Pública Andina|

Carlos Magno Chavarry Vallejos, Doctor¹; Joaquín Samuel Támara Rodríguez, Doctor²; Liliana Janet Chavarria Reyes, Doctora(c)³; Elizabeth Clotilde Panana Holgado, Maestra⁴; Alicia Cristina Chiok Guerra, Doctora⁵; Julio Cesar Coral Jamanca, Maestro⁶; Jainer Eloy Solorzano Poma⁷

^{1,3,5} Universidad Ricardo Palma, Perú, carlos.chavarry@urp.edu.pe; liliana.chavarria@urp.edu.pe; alicia.chiok@urp.edu.pe; ^{2,4,6,7} Universidad Santiago Antúnez de Mayolo, Perú, jtamarar@unasam.edu.pe, epananah@unasam.edu.pe; jcoralj@unasam.edu.pe; jsolorzanop@unasam.edu.pe

Resumen. – *EL presente estudio buscó crear un marco de trabajo con Inteligencia Artificial (IA) para abordar un problema urgente: la inestabilidad, imprevisibilidad y altos costos en la gestión de infraestructura pública en la región andina. Para ello, se adoptó un enfoque cuantitativo, analizando 88 proyectos estatales peruanos representativos. La herramienta de medición utilizada mostró una alta confiabilidad, garantizando la solidez de los datos. Los resultados son reveladores y destacan dos brechas críticas. Primero, el 76% de las obras no considera criterios de sostenibilidad en su ejecución. Segundo, y aún más significativo, el 88% carece de cualquier herramienta tecnológica que permita predecir riesgos o optimizar recursos. Esta doble carencia genera un círculo vicioso de riesgo e incertidumbre, donde los sobrecostos y los imprevistos son la norma, afectando finalmente la calidad y el impacto de la infraestructura que llega a las comunidades. Se demostró una correlación significativa ($rs=0.78$) entre la ausencia de modelos de aprendizaje automático y la variabilidad descontrolada de costos y plazos. Se concluye que la integración de la IA es imperativa para transitar hacia una ingeniería de precisión que priorice la protección del medio ambiente y la resiliencia climática bajo el marco del SINAGERD 2050. La contribución principal reside en un sistema de soporte de decisiones capaz de optimizar recursos, reducir la huella de carbono y garantizar el cumplimiento de estándares internacionales (ISO), consolidando a la tecnología como el eje de una simbiosis entre la productividad industrial y la preservación de los ecosistemas.*

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Ingeniería Civil 4.0, Resiliencia Climática, Sostenibilidad Ambiental, Gestión de Inversión Pública.

I.INTRODUCCIÓN

Sostener la vida en los Andes en esas carreteras, los puentes sobre ríos, las tuberías que llevan agua a los hogares son más difícil que nunca. Las formas en que antes organizábamos estas obras ya no son suficientes, y el cambio climático añade cada año más imprevistos e inestabilidad a cada proyecto. En Perú, esto se traduce en algo concreto: de cada dos obras públicas, una termina costando más de un 20% extra de lo presupuestado [1]. Pero ese porcentaje es mucho más que una cifra: es la señal de un problema de raíz. Lo que es llamado “variabilidad operativa no gestionada” quiere decir, que las herramientas de planificación no están preparadas para lo impredecible: un derrumbe inesperado, una sequía que se alarga o un aumento repentino en el precio del cemento.

Ante este escenario, la Inteligencia Artificial ha dejado de ser una promesa lejana para convertirse en una aliada tangible y necesaria para construir de una manera más segura, eficiente y resiliente.

Este estudio quiere entender cómo los modelos predictivos de IA pueden ayudar a que las obras se terminen a su tiempo, dentro del presupuesto y sin dañar el entorno. Lo que se ha visto en otros lugares del mundo da esperanza: la IA está ayudando a tomar decisiones más claras, a usar la energía con más cuidado y a hacer que puentes y carreteras resistan mejor las tormentas y los sismos [2, 4]. Si se realizan las cosas como siempre, el costo será alto, y no solo en dinero. Gestionar mal la infraestructura pública hace que la gente pierda confianza en que las obras sirvan, ante los desastres. Solo en las últimas dos décadas, los fenómenos climáticos extremos le han costado al país más de diez mil millones de dólares [5]. Herramientas como Random Forest o las redes neuronales ofrecen otra manera: pueden mirar lo que ha pasado antes en fallas de construcciones, en patrones del clima, en gastos imprevistos y aprender de ello para prevenir problemas en lo que construiremos mañana [6,7]. Sin embargo, todavía hay una brecha grande entre lo que sabe que se puede hacer y lo que realmente se hace. Aunque hay acuerdo sobre el potencial de la IA para crear infraestructuras más inteligentes y sostenibles, el 76% de los proyectos que se estudian en los Andes no la usa. Esta desconexión también se nota en algo básico: el 84% de las obras no cumple con normas ISO fundamentales, lo que hace difícil mejorar de manera constante y ordenada [8,9]. Igualmente, son muy pocos los proyectos que logran conectarse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible [10].

Los fenómenos como El Niño requieren dar un paso decisivo: construir infraestructuras más inteligentes. Una de las claves está en tecnologías como los gemelos digitales, que son como réplicas virtuales de un puente, una carretera o un sistema de agua. Estos modelos permiten simular escenarios, monitorear el desgaste en tiempo real y predecir posibles fallas, lo que fortalece enormemente la capacidad para anticipar y responder a desastres naturales [5,7]. Por eso, integrar la Inteligencia Artificial de manera sistemática y con políticas públicas claras ya no es una opción, sino una necesidad. Es la forma de superar la fragmentación en la

gestión pública y de asegurar que la infraestructura peruana sea viable, segura y sostenible frente a los retos de este siglo. Como solución de fondo, se propone implementar un Sistema de Soporte de Decisiones basado en IA (AI-DSS), diseñado para acompañar y fortalecer las tres fases de cualquier proyecto:

- **Fase de Pre-ejecución:** Mediante algoritmos de optimización para la selección de rutas y materiales de baja huella de carbono.
- **Fase de Ejecución:** A través de la integración de *Computer Vision* para detectar desviaciones en el cronograma físico e identificar riesgos laborales de forma proactiva.
- **Fase de Operación:** Con el despliegue de redes de sensores IoT vinculadas a modelos de mantenimiento predictivo, permitiendo alertar sobre la fatiga de materiales antes de una falla catastrófica.

Por consiguiente, la integración sistemática de la IA bajo una política estandarizada es imperativa para superar la fragmentación de la gestión pública. Para asegurar que la infraestructura del Perú sea viable, segura y sostenible en el siglo XXI, se necesita cambiar la forma de trabajar: dejar de actuar solo cuando surgen problemas para empezar a anticiparlos. La Inteligencia Artificial (IA) se presenta aquí como un aliado poderoso, capaz de fortalecer las obras y mejorar los servicios que llegan a la población. Esta investigación busca justamente analizar ese papel estratégico de la IA: cómo puede hacer más eficientes y seguros los proyectos del Estado, desde una gestión más inteligente de los recursos hasta el monitoreo en tiempo real del medioambiente y la capacidad de prever cuándo una estructura necesitará mantenimiento. A través de una hoja de ruta concreta y el estudio de casos reales, este trabajo ofrece sol prácticas para integrar las herramientas de la Ingeniería 4.0 en la gestión de la infraestructura andina. El horizonte que se persigue es claro: avanzar hacia un modelo de desarrollo más resistente, basado en datos, que permita reducir riesgos y, sobre todo, lograr que la inversión pública tenga un impacto social más profundo y duradero.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se construyó sobre datos y evidencias concretas, usando un enfoque cuantitativo para entender a fondo el funcionamiento real de la gestión de infraestructura pública. Se observó la situación tal como es, sin intervenir, tomando una “fotografía” en un momento determinado que permitió explicar cómo se toman las decisiones y qué factores influyen en los resultados. Se trazó un camino realista hacia el futuro. Por eso, la investigación tuvo un enfoque práctico, cuyo propósito central fue diseñar una hoja de ruta viable para incorporar la Inteligencia Artificial (IA) en la infraestructura del Perú. El objetivo era claro: reducir riesgos, usar mejor los recursos disponibles y alinear los proyectos públicos con los principios globales de sostenibilidad, resiliencia e innovación [8, 10]. Para lograrlo, se parte de datos reales y cercanos a la

problemática. Para este análisis, se revisaron 113 proyectos de infraestructura que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento registró entre 2023 y 2024. Estos proyectos estaban en diferentes fases de avance. De todos ellos, se eligieron 88 de forma ordenada y cuidadosa, buscando que reflejaran bien la realidad del sector. La muestra se diseñó para que los resultados fueran confiables, con poco margen de error y un nivel alto de certeza, como se acostumbra en este tipo de estudios [1]. La información se obtuvo de los profesionales que los dirigen y supervisan: Gerentes de proyecto, residentes de obra y supervisores técnicos,

La consistencia interna del cuestionario se determinó mediante el coeficiente Alfa de Cronbach, obteniendo un valor de 0.840. Este resultado indica una fiabilidad alta, validando la capacidad del instrumento para medir las variables de estudio de acuerdo con precedentes metodológicos en el sector [9]. El procesamiento de los datos se realizó con el *software* IBM SPSS. Como fase preliminar, se evaluó la naturaleza de la distribución de la muestra mediante la prueba de *Kolmogorov-Smirnov*. El análisis reportó un valor de significancia de $p < 0.001$, confirmando una distribución no paramétrica. Por consiguiente, se seleccionaron pruebas estadísticas no paramétricas para el contraste de hipótesis. El análisis inferencial se centró en evaluar la correlación entre la ausencia de sistemas de IA predictiva y la incidencia de sobrecostos y retrasos en las obras. Para ello, se aplicó el coeficiente de correlación *Rho de Spearman*, técnica que permite establecer con rigor científico el grado de asociación entre las dimensiones económicas, técnicas y socioambientales, siguiendo el enfoque metodológico de estudios en infraestructura resiliente [6,7].

III. RESULTADOS

La gestión de los activos de infraestructura, que tiene en cuenta las obras de acceso y transporte de la población, las instalaciones de comercialización y el abastecimiento, ha pasado de la fase de ejecución a la contemplación del afianzar las normas de resiliencia y la sostenibilidad del ciclo de vida. La simplificación de procesos es, por su capacidad para apuntalar la operatividad de los servicios esenciales, un motivo técnico necesario en la administración pública contemporánea. No obstante, los resultados de la presente investigación ponen de manifiesto la existencia de una distancia abismal entre la situación en la práctica y la situación en la ejecutoria esperada. La ejecución de estos proyectos se caracteriza por una falta de recursos analíticos eficaces que faciliten la capacidad prospectiva, por una falta de experiencia en la medida o por una falta de toma de decisiones bajo un halo de incertidumbre derivado de la escasez de datos estructurados y procesables en el momento de la toma de decisiones.

Esta incertidumbre no es casualidad; es una consecuencia. Es el resultado de aferrarse a métodos del pasado, que no dialogan con los datos, que ignoran el potencial de la inteligencia artificial y que renuncian a los modelos que pueden prever escenarios. Cuando un proyecto es incapaz de "ver" lo que se aproxima, cualquier giro del clima, un cambio

en los costos o una nueva urgencia social lo toma completamente desprevenido. Las consecuencias son serias. En un mundo cada vez más impredecible con fenómenos climáticos más feroces y demandas sociales más apremiantes, esta fragilidad técnica se materializa en obras que se eternizan, que exceden su presupuesto y que, en los casos más graves, terminan sin cumplir a largo plazo la función para la que fueron creadas. No es solo una cuestión de dinero malgastado: se pone en juego el desarrollo y el bienestar de comunidades enteras, tal como ya han alertado investigaciones recientes [2, 6]. Para dimensionar esta brecha entre lo actual y lo posible, la Tabla 1 sintetiza los hallazgos del análisis sobre 88 proyectos de infraestructura pública. En ella se constataron las prácticas habituales con lo que se podría lograr adoptando un enfoque moderno, nutrido por datos y potenciado por la tecnología.

TABLA 1
ANÁLISIS DE BRECHAS DE DESEMPEÑO Y CAPACIDAD
TECNOLÓGICA (n=88)

Dimensión Técnica	Indicador de Control (KPI)	Resultado	Gap de Eficiencia	Nivel de Riesgo
Sostenibilidad	Integración de ODS e Impacto Ambiental	24%	76%	Muy Alto
Tecnología	Modelado Predictivo y <i>Machine Learning</i>	12%	88%	Crítico
Gestión de Calidad	Estándares ISO 9001/14001	16%	84%	Deficiente
Eficiencia	Control de Variabilidad (Costos/Plazos)	30%	70%	Inestable
Resiliencia	Protección ante Fenómenos Naturales	18%	82%	Vulnerable

Los resultados del estudio presentan un panorama claro: la tecnología es, el eslabón más débil. Solo el 12% de los proyectos utiliza herramientas avanzadas, como modelos predictivos o aprendizaje automático. Esto deja una brecha del 88%, lo que significa que la gran mayoría opera sin poder anticipar fallas o desvíos presupuestarios. El resultado, como señala la literatura especializada, es casi inevitable: más sobrecostos y más retrasos [6, 7]. El cumplimiento de estándares internacionales (como las normas ISO 9001 e ISO 14001) alcanza apenas un 16%, con una brecha del 84%. Sin estas bases, los procesos son difíciles de auditar, repetir y mejorar, lo que perpetúa una gestión inestable [8, 9]. En materia de sostenibilidad, los datos son igualmente preocupantes. La integración de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el control ambiental muestran una madurez de solo 24%. Esto confirma que hay una desconexión profunda entre los compromisos que se declaran y lo que realmente se hace en las obras, un alejamiento de los principios de la Agenda 2030 [10].

La capacidad de respuesta tiene un nivel de implementación del 18% (brecha del 82%), lo que deja a la infraestructura en una situación de alta vulnerabilidad. En un

país expuesto a eventos climáticos extremos, esta falta de preparación incrementa el riesgo de daños graves y pérdidas económicas recurrentes [5, 7]. Incluso en la eficiencia operativa, donde se registra el mejor desempeño relativo (30%), persiste una brecha importante (70%). Esto confirma que los sobrecostos y retrasos no son excepciones, sino un patrón constante en la ejecución de los proyectos [1, 6].

El estudio revela una contradicción entre el discurso y la acción. Mientras el 55% de los profesionales afirma que los proyectos integran aspectos económicos y sociales, solo el 27% lleva a cabo acciones concretas para mejorar lo físico, organizacional y ambiental. Esta brecha sugiere que la sostenibilidad se aborda más en teoría que en la práctica [3, 8]. De manera preocupante, solo el 16% reporta que existen programas de actualización de infraestructura como política de Estado, lo que refleja una visión cortoplacista. Esta resistencia para modernizarse se agudiza al ver que apenas el 8% de los proyectos desarrolla modelos sostenibles o gestiona sus recursos con alta eficiencia, un rezago que se aleja de los estándares de la ingeniería del siglo XXI [2, 9].

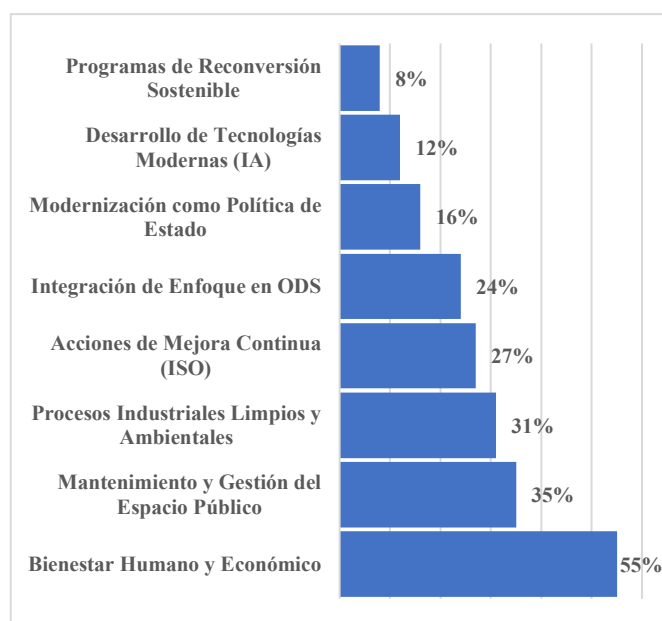


Fig. 1 Porcentaje de implementación de Proyectos de ingeniería civil e infraestructura para el crecimiento económico en el Perú

En el ámbito estrictamente tecnológico, los resultados confirman una adopción incipiente de los principios de la Ingeniería 4.0. Apenas el 12% de los proyectos implementa tecnologías avanzadas de análisis predictivo, mientras que el 31% incorpora procesos industriales ambientalmente racionales. Estas cifras resultan insuficientes para converger con los estándares internacionales de sostenibilidad integral y control de calidad exigidos por las normas ISO [8, 9]. Por otro lado, el hecho de que solo el 35% de los proyectos priorice el mantenimiento y la gestión del espacio público resalta una oportunidad perdida para la implementación de algoritmos de optimización urbana. Bajo el esquema actual, la infraestructura opera en un estado de subutilización

tecnológica que, de no ser revertido mediante la integración de la Inteligencia Artificial (IA) y la estandarización normativa, continuará comprometiendo la viabilidad y la resiliencia de la inversión pública frente a las crecientes demandas de eficiencia global.

El análisis de correlación mediante el coeficiente Rho de Spearman evidencia una relación significativa entre la ausencia de modelos predictivos basados en IA y la variabilidad operativa de los proyectos ($r_s = 0,78$). Este resultado confirma que la falta de herramientas de analítica avanzada constituye un factor determinante en la inestabilidad de costos y plazos, reforzando la necesidad de una transición hacia sistemas de gestión predictiva y estandarizada [6, 7].

Como síntesis de este diagnóstico, la Figura 2, ofrece una perspectiva detallada sobre el estado de madurez y los desafíos operativos predominantes en la región. A través de este análisis visual, se hace evidente una marcada disparidad entre las aspiraciones estratégicas declaradas y la capacidad real de ejecución técnica y normativa en los proyectos evaluados, subrayando la urgencia de una reforma metodológica integral.

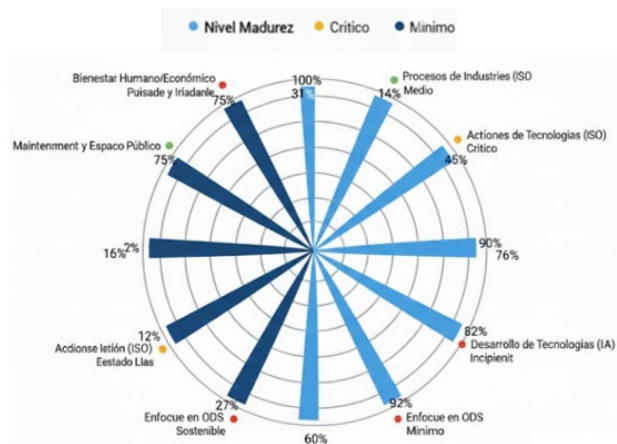


Fig. 2 Brecha Tecnológica y Sostenibilidad en Proyectos de Infraestructura Andina

En el espectro de los hitos alcanzados, la infraestructura andina demuestra un cumplimiento notable en el "Enfoque en ODS Mínimo", alcanzando un nivel de madurez del 92%. Asimismo, el "Desarrollo de Tecnologías (IA)" registra un avance significativo del 82%, mientras que el mantenimiento del espacio público se consolida con un 75%. No obstante, estos indicadores favorables contrastan con una debilidad estructural en materia de estandarización: las "Acciones de Gestión (ISO)" y los "Procesos de Industrias (ISO)" reportan niveles críticos de apenas 12% y 14%, respectivamente. Esta disparidad sugiere una carencia de marcos de trabajo internacionales que garanticen la calidad y la eficiencia sistémica.

La interpretación de estos datos revela una realidad compleja: la región ha adoptado metas de sostenibilidad y tecnologías de vanguardia de manera teórica, pero presenta

deficiencias en su implementación. Esta brecha se evidencia al observar que, si bien el compromiso básico con los ODS es casi total, el "Enfoque en ODS Sostenible" desciende drásticamente al 27%. Del mismo modo, aunque la madurez en IA es nominalmente alta, se califica como "Incipiente", lo que indica que la tecnología aún no se ha traducido en procesos operativos maduros. En consecuencia, los resultados subrayan la urgencia de transitar desde un cumplimiento de mínimos hacia una gestión institucionalizada que fortalezca el bienestar humano, el cual actualmente solo alcanza un 31% de madurez.

Como se evidencia en la Figura 3, el gráfico de control refleja una alta variabilidad en la asociación de variables, lo que denota una ausencia crítica de estandarización. Esta variabilidad operativa identificada en los proyectos de infraestructura posee implicaciones directas sobre la sostenibilidad y el cumplimiento de estándares globales. La falta de un método consistente para correlacionar variables multidimensionales tales como costos directos, plazos de ejecución e impactos socioambientales deriva en una gestión inestable y vulnerable a sobrecostos. En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) se convierte en el ancla que permite mantener el equilibrio. Al procesar grandes cantidades de información, la IA puede detectar patrones que a simple vista pasan desapercibidos y ayudar a encontrar relaciones clave entre distintos factores. Así, se pasa de decidir por corazonada o intuición a hacerlo con base en datos y análisis algorítmicos, mucho más sólidos y confiables. Lograr esta estabilidad de procesos no representa solo una mejora técnica, sino un requisito imperativo para la certificación bajo normas ISO, cuyo principio rector es, la minimización de la variabilidad para garantizar la calidad y la resiliencia de la inversión pública.

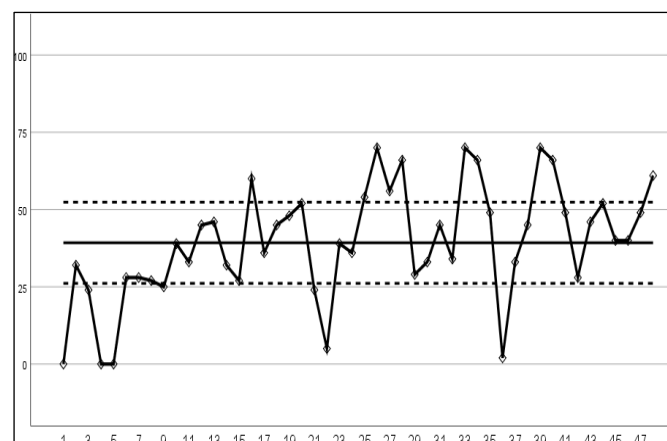


Fig. 3 Gráfico de control del porcentaje de asociación de las variables de los coeficientes de correlación de Spearman

Al hacer el análisis de calidad, los resultados son bastante reveladores: la forma en que se están gestionando los proyectos evaluados tiene serios problemas de control estadístico. En el gráfico de control, se observa que catorce procesos (1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 15, 21, 22, 29, 36 y 42) se mantienen siempre por debajo del 30% de rendimiento. Es decir, están fuera de cualquier rango

mínimo que pueda considerarse aceptable.". Pero esto va más allá de los números. Cada porcentaje bajo esconde un problema real: tal vez la obra no se planificó bien, no se supervisó como debía o se cometieron errores durante la construcción. Si no se interviene, estas fallas pueden convertirse en retrasos acumulados, costos que se disparan y, lo más delicado, en infraestructuras que podrían no ser tan seguras como necesitan ser.

Ante esta evidencia empírica, se justifica la implementación inmediata de un Plan de Mejora de optimización basado en el Control Estadístico de Procesos (SPC) asistido por Inteligencia Artificial. La capacidad de monitoreo y análisis en tiempo real que ofrecen los modelos predictivos permitiría reintegrar estos procesos críticos a los estándares de calidad exigidos por la normativa ISO. Esta transición, que desplaza la gestión fragmentada hacia un modelo de control predictivo, constituye la única vía técnica viable para mitigar los nodos de riesgo detectados y garantizar que la infraestructura pública alcance los niveles de resiliencia y eficiencia que demanda el actual contexto nacional.

Plan de mejora (PM)

A partir de este estudio, se ha diseñado una propuesta de mejora concreta para la infraestructura pública en el Perú. El propósito es claro: superar las brechas detectadas en tecnología, eficiencia, preparación ante el clima y gobernanza. Para lograrlo, se integró de manera práctica tres pilares: Inteligencia Artificial (IA), cuidado del medio ambiente y estándares internacionales de calidad (ISO). Este camino permite establecer las tendencias globales que promueven infraestructuras inteligentes y un uso más responsable de los recursos [3, 8, 10].

a. Desarrollo de infraestructuras con IA para la sostenibilidad, calidad y bienestar humano

En la Tabla 2 muestra medidas específicas para siete procesos clave (PC-1 al PC-7). Estas acciones están guiadas por el enfoque de IA Verde, que busca combinar una buena ejecución técnica con la protección ambiental y el impacto social positivo. La aspiración es que las obras no solo cumplan su función, sino que también contribuyan a un entorno más saludable y a una mejor calidad de vida, en línea con los estándares ISO y los compromisos de desarrollo sostenible [8, 9, 10]. Además, la Tabla 2 sistematiza un marco operativo donde la Inteligencia Artificial Verde actúa como el eje transversal para la sostenibilidad en infraestructuras. El análisis de los procesos (PC-1 al PC-7) revela una transición desde el cumplimiento normativo y la gestión de riesgos predictivos hacia una ejecución técnica de alto impacto ambiental. La integración de modelos avanzados y tecnologías digitales, como el escaneo 3D y el reconocimiento de patrones, no solo optimiza la eficiencia energética y la economía circular, sino que garantiza una supervisión en tiempo real. En última instancia, la interpretación de estos datos sugiere que la automatización y la analítica inteligente son herramientas críticas para mitigar la huella de carbono y reducir el efecto de isla de calor, alineando la productividad industrial con el

bienestar humano y los estándares internacionales de desarrollo sostenible.

TABLA 2
 INFRAESTRUCTURAS CON IA PARA LA SOSTENIBILIDAD, CALIDAD Y BIENESTAR HUMANO

Procesos críticos (PC)	Objetivo / Medida	Descripción y Aplicación de la IA	Impacto y Beneficios
PC-1	Normas y Reglamentos	Integración de IA en regulaciones para gestión sostenible y estándares ISO.	Optimiza productividad energética y economía circular (ciclo de vida de materiales).
PC-3	Identificación de Riesgos	Uso de modelos predictivos para análisis situacional avanzado.	Detección precisa de riesgos ambientales y detección de oportunidades (energías renovables/agua).
PC-4	Eficacia y Sostenibilidad	Análisis de renovación de recursos y clasificación automatizada de residuos (RCD).	Gestión inteligente de energía, transporte eficiente y reutilización de materiales.
PC-5	Tecnologías Digitales	Escaneo 3D, reconocimiento de patrones y análisis de datos de cámaras.	Gestión, comunicación e informes del estado de proyectos en tiempo real.
PC-6	Reducción de Huella de Carbono	Optimización de procesos de producción para minimizar desperdicios y energía.	Producción limpia, cumplimiento de normas ISO ambientales y mayor competitividad.
PC-7	Infraestructura Inteligente	Redes de transporte inteligente y servicios públicos autónomos.	Mejora de calidad del aire, gestión de agua de lluvia y reducción del efecto "isla de calor".

Para comenzar (PC-1), es necesario sentar las bases legales que permitan integrar la Inteligencia Artificial en la gestión de la infraestructura pública. Esto no es solo un requisito técnico, sino una oportunidad para construir de manera más eficiente, ahorrar energía y promover un uso responsable de los materiales, tal como recomiendan los estándares internacionales [8, 9]. Durante la planificación de los proyectos (PC-3), los modelos predictivos ofrecen una mirada hacia adelante. Ayudan a anticipar riesgos ambientales y a encontrar oportunidades en diferentes áreas, como las energías limpias y la gestión sostenible del agua. Esta capacidad de prever escenarios ha resultado esencial para tomar decisiones más seguras y reducir sorpresas en proyectos de gran escala [6, 7]. Ya en la etapa de operación (PC-4), la IA se convierte en una aliada para el día a día: optimiza el uso de la energía, facilita la renovación de recursos y automatiza el manejo de residuos de construcción. Estas acciones no son solo eficientes; son un aporte concreto para reducir nuestro impacto

ambiental y alinearnos con compromisos internacionales [3, 14].

b. Acciones de mejora impulsadas por IA y alineadas con estándares de calidad (ISO)

La Tabla 3 establece una hoja de ruta para la modernización de la infraestructura básica y la gobernanza institucional mediante la convergencia entre IA y normas ISO.

TABLA 3
INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA), ALINEADAS CON ESTÁNDARES DE CALIDAD (ISO)

Procesos críticos (PC)	Enfoque Tecnológico	Aplicación Específica de la IA	Beneficios e Impacto
PC-8	Modernización de Infraestructura. Estándares internacionales y normas ISO.	Mantenimiento predictivo y optimización de cobertura territorial.	Aumento de productividad, competitividad y mejor prestación de servicios básicos.
PC-9	Plan de Sostenibilidad. Mejora continua y enfoque proactivo.	Seguimiento documentado y análisis de eficiencia, residuos y emisiones.	Garantía de cumplimiento de objetivos a corto, medio y largo plazo con precisión de datos.

Dentro del componente PC-8, la inteligencia artificial se constituye como el núcleo estratégico del mantenimiento predictivo y la optimización de la cobertura territorial, facultando la detección precoz de anomalías y fallas estructurales mediante el análisis de datos masivos y el procesamiento de señales en tiempo real. Este enfoque disruptivo facilita una transición definitiva desde modelos de intervención reactivos —a menudo costosos e ineficientes— hacia esquemas de gestión proactivos y preventivos. Dicha evolución no solo incrementa la productividad operativa, sino que maximiza significativamente la integridad, la seguridad y la resiliencia de los activos públicos frente a las crecientes demandas ambientales y el desgaste derivado del uso intensivo [6, 9].

De manera complementaria, el PC-9 articula un Plan de Sostenibilidad integral robustecido por algoritmos de aprendizaje continuo, diseñado para evolucionar dinámicamente gracias al monitoreo constante de indicadores críticos como el consumo energético, la huella de carbono y el tratamiento técnico de los residuos sólidos. Esta integración tecnológica de vanguardia garantiza la alineación permanente de las infraestructuras con los objetivos institucionales de largo aliento, mitigando riesgos operativos latentes y optimizando la asignación de recursos financieros de forma estratégica. Asimismo, la automatización exhaustiva de estos registros y la generación de métricas inteligentes refuerzan los mecanismos de trazabilidad y transparencia, permitiendo una rendición de cuentas más precisa, auditable y eficiente dentro de la gestión pública contemporánea. Este marco operativo, finalmente, consolida un modelo de gobernanza inteligente y socialmente responsable que prioriza el impacto positivo en el

entorno y la sostenibilidad del ecosistema urbano a largo plazo [8, 10].

c. Programas de modernización con IA como política de estado para la economía circular

La Tabla 4 sintetiza los lineamientos estratégicos orientados a consolidar la IA como política de Estado en la transición hacia una economía circular.

TABLA 4
MODERNIZACIÓN CON IA COMO POLÍTICA DE ESTADO PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR

Procesos Críticos (PC)	Estrategia de Implementación	Rol Específico de la IA	Resultados Esperados
PC-15	Participación de Interesados. Plataformas colaborativas de recopilación de datos.	Análisis de métricas en tiempo real e identificación de áreas de mejora basadas en el <i>feedback</i> de los actores.	Establecimiento de metas específicas, medibles y estrategias ajustadas dinámicamente.
PC-21	Transición a Economía Circular. Transformación de la cadena de valor y ecodiseño.	Optimización de diseño para durabilidad y resiliencia , además de gestión inteligente de reciclaje.	Flujo circular de recursos, consumo sostenible y cumplimiento de estándares ISO de sostenibilidad.

El componente PC-15 promueve el uso de plataformas colaborativas basadas en IA para integrar activamente a los actores clave en la definición de metas organizacionales. Esta estrategia facilita la recopilación y el análisis de métricas en tiempo real, permitiendo ajustes dinámicos en función del desempeño y las expectativas sociales [15]. Por su parte, el PC-21 impulsa la transformación de la cadena de valor mediante el ecodiseño y la optimización del ciclo de vida de la infraestructura. La aplicación de IA en este ámbito maximiza la durabilidad estructural, reduce el consumo de recursos y asegura el cumplimiento de los estándares ISO de sostenibilidad, consolidando un flujo circular de materiales y energía [3, 14].

d. Optimización de recursos con IA para una mayor eficacia y sostenibilidad

La optimización de los recursos naturales y la mitigación del impacto ambiental en proyectos de infraestructura exigen una integración sofisticada entre la ingeniería avanzada y la ética ecológica. En este contexto, la Tabla 5 detalla las especificaciones del proceso crítico PC-22, el cual se centra en el Uso Regulado de Recursos mediante la convergencia de tecnologías de modelado 3D y algoritmos de optimización de última generación. A diferencia de los métodos convencionales de planificación, este enfoque permite una regulación milimétrica en el consumo de materiales y un diseño adaptativo que armoniza con la topografía preexistente. Como se desglosa a continuación, el rol de la Inteligencia Artificial en esta etapa no solo se limita a la eficiencia

operativa y el ahorro de tiempos de ejecución, sino que se extiende hacia una responsabilidad climática superior, evidenciada en la reducción sustancial de las emisiones de carbono y la preservación de la integridad visual y biológica del entorno natural.

TABLA 5
RECURSOS CON IA PARA UNA MAYOR EFICACIA Y SOSTENIBILIDAD

Procesos Críticos (PC)	Herramienta Tecnológica	Función de la IA	Beneficios e Impacto Ambiental
PC-22	Uso Regulado de Recursos. Modelado 3D avanzado y algoritmos de optimización.	Regulación precisa de materiales y diseño adaptativo al entorno.	Reducción de emisiones de CO ₂ , ahorro de tiempo y menor impacto visual/espacial en la naturaleza.

El lineamiento PC-22 propone la integración de modelos tridimensionales avanzados y algoritmos de optimización asistidos por IA para regular con precisión el uso de materiales y el diseño estructural. Esta estrategia permite reducir de manera significativa las emisiones de CO₂, minimizar el desperdicio y acortar los plazos de ejecución, contribuyendo a una ingeniería de precisión alineada con los principios de sostenibilidad ambiental [6, 7].

e. Desarrollo de tecnologías modernas y IA para proyectos de infraestructura

La Tabla 6 presenta el lineamiento orientado al desarrollo de tecnologías modernas y soluciones basadas en IA para proyectos de infraestructura, con especial énfasis en el paradigma de las ciudades inteligentes.

TABLA 6
TECNOLOGÍAS MODERNAS Y IA PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

Procesos Críticos (PC)	Áreas de Aplicación	Función de la IA	Impacto en la Ciudadanía
PC-29	Ciudades Inteligentes. Tráfico, Energía y Seguridad Pública.	Análisis de grandes volúmenes de datos (<i>Big Data</i>) para el despliegue de servicios.	Ciudades más conectadas, sostenibles y con una gestión ética y segura de los servicios públicos.

Según el PC-29, indica que en lugar de infraestructuras estáticas, se debe pasar a un modelo donde calles, redes de energía y servicios respondan y aprendan de lo que ocurre día a día. Al analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real, es posible, por ejemplo, aligerar el tráfico en horas pico, distribuir energía de manera más inteligente o fortalecer la seguridad en zonas críticas. Esto significa menos tiempo perdido en atascos, menos cortes de luz y mayor tranquilidad para las personas [2, 6]. Los resultados son tangibles: donde se ha implementado, la IA ha logrado reducir embotellamientos y contaminación, y ha hecho que las redes eléctricas sean más estables incluso en momentos de alta demanda [6, 7]. Así, la tecnología deja de ser un añadido para convertirse en la

columna vertebral de ciudades que funcionan mejor para quienes las viven, hoy y mañana.

f. Procesos industriales limpios y sostenibles con el apoyo de la IA

La Tabla 7 describe los lineamientos orientados a la implementación de procesos industriales limpios y sostenibles mediante el uso de IA en talleres, fábricas y centros de prefabricación.

TABLA 7
PROCESOS INDUSTRIALES LIMPIOS Y SOSTENIBLES CON EL APOYO DE LA IA

Procesos Críticos (PC)	Áreas de Intervención	Función de la IA	Impacto Operativo y Ambiental
PC-36	Optimización de Procesos. Talleres, fábricas y ejecución de proyectos.	Automatización inteligente, ecodiseño y selección de materiales.	Reducción de residuos, ahorro de agua/energía y disminución de la siniestralidad laboral.

El componente PC-36 establece la automatización inteligente y el ecodiseño como mecanismos para la reducción de residuos, el ahorro de agua y energía, y la disminución de la siniestralidad laboral. La aplicación de algoritmos de aprendizaje permite supervisar en tiempo real el flujo de materiales, optimizar las secuencias constructivas y garantizar el uso eficiente de los recursos críticos [3, 14]. Estos avances posicionan a la IA como un catalizador para la consolidación de una industria de la construcción alineada con el paradigma de “cero residuos”, donde la productividad industrial converge con la preservación ambiental y la seguridad ocupacional [8, 9].

g. Mantenimiento y gestión urbana con IA para ciudades sostenibles y resilientes

La Tabla 8 presenta el marco estratégico para el mantenimiento y la gestión urbana asistida por IA, orientado a la creación de ciudades sostenibles y resilientes.

TABLA 8
MANTENIMIENTO Y GESTIÓN URBANA CON IA PARA CIUDADES SOSTENIBLES Y RESILIENTES

Procesos Críticos (PC)	Áreas de Enfoque	Función de la IA	Impacto Operativo y Calidad de Vida
PC-42	Planificación Urbana. Desarrollo urbano, transporte público e infraestructura verde.	Priorización del desarrollo basada en datos, optimización de huella de carbono y modelos predictivos de movilidad.	Mejora de calidad del aire, cohesión comunitaria, seguridad y fomento de la actividad física (productividad).

El proceso crítico PC-42 propone la planificación urbana basada en datos, mediante modelos predictivos de movilidad, optimización de la huella de carbono y gestión inteligente de

infraestructura verde. La IA permite anticipar demandas de transporte, mejorar la calidad del aire y fomentar la cohesión social a través del diseño eficiente de espacios públicos [5,6]. Este enfoque posiciona a la IA como el eje de una simbiosis entre infraestructura gris y azul-verde, contribuyendo a la resiliencia urbana y al bienestar humano frente a los desafíos climáticos y sociales del siglo XXI [2, 10].

Plan de mejora, agrupados por áreas

El plan de mejora estratégica propuesto en este estudio, fundamentado en la Inteligencia Artificial (IA), aborda de manera directa las deficiencias críticas identificadas en la gestión de proyectos de infraestructura en el Perú. El análisis de sus componentes revela un enfoque integral y una visión prospectiva diseñada para mitigar problemáticas crónicas como los sobrecostos, los retrasos operativos y la carencia de sostenibilidad. Como se detalla en la Tabla 9, el plan se estructura en tres áreas estratégicas que conforman una hoja de ruta exhaustiva para la modernización del sector. La primera de ellas se describe a continuación:

a. **Sostenibilidad y Bienestar Humano:** La presente propuesta se fundamenta en una premisa ontológica elemental, aunque de profundas implicaciones estructurales: la infraestructura y la innovación tecnológica deben ser concebidas, esencialmente, por y para el ser humano. Bajo este paradigma antropocéntrico, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas dejan de ser meras declaraciones de intención para erigirse como la brújula ética y el marco normativo global que debe regir cualquier intervención en el territorio. En este escenario, la Inteligencia Artificial (IA) se integra no como un fin en sí mismo, sino como una herramienta aliada de alta precisión, cuya implementación se rige por la prudencia técnica y el sentido común, permitiendo potenciar el cumplimiento de las metas globales con un margen de error significativamente reducido.

La urgencia de este enfoque se ve respaldada por datos macroeconómicos alarmantes: durante las últimas décadas, los desastres naturales han generado una carga financiera global que supera los 10,000 millones de dólares [5]. Esta cifra representa no solo una pérdida de capital físico, sino un retroceso sistemático en el desarrollo de las naciones. Ante tal vulnerabilidad sistémica, la Inteligencia Artificial trasciende su percepción como una entidad tecnológica abstracta o teórica, para materializarse en un instrumento crítico de previsión, resiliencia y protección civil. Al procesar volúmenes masivos de datos meteorológicos, geológicos y estructurales, la IA permite anticipar escenarios de riesgo que antes eran imprevisibles, transformando la gestión de infraestructuras en un ejercicio de salvaguarda de la vida y el patrimonio. La integración de este componente inteligente permite transitar de una ingeniería meramente funcional a una ingeniería responsable. Al optimizar el uso de recursos escasos y minimizar la huella ecológica, la IA se convierte en el motor que garantiza que el progreso económico no se produzca a expensas de la degradación ambiental. De este modo, la tecnología se pone al servicio de la ética, asegurando que las

construcciones del presente no comprometan la estabilidad de las generaciones futuras, cumpliendo así con el espíritu más puro de la sostenibilidad integral.

TABLA 9

CUADRO COMPARATIVO DETALLADO QUE RESUME Y CONTRASTA LOS ÍTEMS DEL PLAN DE MEJORA, AGRUPADO EN LA SOSTENIBILIDAD Y BIENESTAR HUMANO

Área del Plan	Acción con IA	Impacto Operativo y Ambiental
Productividad Energética	Optimización de ciclos de vida y flujos de materiales.	Mejora la eficiencia energética y promueve la economía circular mediante el uso eficiente de recursos.
Gestión de Riesgos	Aplicación de modelos predictivos de análisis situacional.	Identificación precisa de riesgos ambientales y detección de oportunidades en energías renovables .
Residuos de Construcción	Clasificación automatizada de residuos (RCD).	Maximiza el reciclaje y la reutilización de materiales en proyectos de infraestructura.
Eficiencia Industrial	Optimización de procesos de producción en tiempo real.	Reducción significativa de la huella de carbono y del consumo de agua y energía.
Infraestructura Resiliente	Predicción de riesgos hídricos y gestión de agua de lluvia.	Mitigación de impactos negativos y mejora de la calidad del aire y del entorno urbano.

Nota: Elaboración propia con base en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015), interpretados desde la experiencia profesional.

b. **Modernización y Estándares de Calidad (ISO):** Este eje estratégico subraya la imperativa adopción de estándares de calidad internacionales como marco de referencia ineludible para alcanzar la excelencia operativa y la competitividad global (Tabla 10). En este contexto, la Inteligencia Artificial no solo actúa como una herramienta de soporte, sino como un motor avanzado de analítica predictiva. Su capacidad de procesamiento permite anticipar con exactitud las necesidades de mantenimiento preventivo y monitorear, mediante sensores inteligentes y algoritmos de aprendizaje automático, métricas críticas de eficiencia energética y niveles de emisiones contaminantes en tiempo real. La implementación de este componente tecnológico es fundamental para un sector históricamente caracterizado por procesos con alta variabilidad operativa; es decir, flujos de trabajo que operan frecuentemente fuera de los límites de control estadístico aceptables. Al integrar la IA, se mitiga de manera sistemática la falta de estandarización, atacando directamente la causa raíz de los sobrecostos financieros y los retrasos sistémicos que comprometen la viabilidad de los proyectos. De este modo, la tecnología actúa como un mecanismo de autorregulación que garantiza que la infraestructura no solo cumpla con la normativa ISO vigente, sino que se mantenga en un ciclo de mejora continua (Kaizen) y estabilidad técnica, asegurando la resiliencia de los activos a largo plazo y la optimización del capital invertido.

TABLA 10
CUADRO COMPARATIVO DETALLADO QUE RESUME Y
CONTRASTA LOS ÍTEMS DEL PLAN DE MEJORA, AGRUPADO EN
LA MODERNIZACIÓN Y ESTÁNDARES DE CALIDAD (ISO)

Área del Plan	Acción con IA	Impacto Operativo y Calidad ISO
Mantenimiento Proactivo	Análisis predictivo de necesidades futuras en infraestructuras.	Transición del modelo reactivo al proactivo, optimizando la cobertura y vida útil de la estructura.
Monitoreo de Desempeño	Análisis continuo de eficiencia energética y emisiones de operación.	Garantiza la mejora continua y el cumplimiento estricto de estándares ambientales internacionales.
Gestión de Interesados	Plataformas de IA para análisis de perspectivas y <i>feedback</i> en tiempo real.	Ajuste dinámico de estrategias de diseño y construcción para satisfacer requisitos de calidad.
Diseño y Resiliencia	Optimización de especificaciones técnicas mediante algoritmos inteligentes.	Creación de estructuras duraderas e inteligentes que minimizan fallas y cumplen normas ISO de excelencia.

Nota: Elaboración propia con base en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015), interpretados desde la experiencia profesional.

c. Eficiencia y Optimización de Recursos: Esta propuesta sostiene que las obras públicas, tales como carreteras, escuelas o sistemas de saneamiento, no deben limitarse a su existencia física, sino que deben estar orientadas a mejorar sustancialmente el bienestar social (Tabla 11). Para este fin, se integra la Inteligencia Artificial (IA) de manera transversal en el ciclo de vida del proyecto, desde la fase de diseño conceptual hasta la operación activa. La implementación de modelos digitales tridimensionales avanzados, bajo la sinergia BIM-AI, faculta una visualización hiperrealista y técnica que permite prever colisiones y errores antes de la ejecución material.

Gracias a esta convergencia tecnológica, se logra una optimización rigurosa de los recursos, facilitando la reducción de la huella de carbono y el cumplimiento estricto de los cronogramas de entrega, lo que acelera el retorno social de la inversión. Asimismo, la gestión inteligente de datos masivos (Big Data) permite una planificación urbana de alta precisión y una administración resiliente de servicios críticos. Este enfoque optimiza desde el flujo de tráfico vehicular hasta la distribución de cargas en redes energéticas y la efectividad de los protocolos de seguridad ciudadana. En última instancia, la IA transforma la infraestructura estática tradicional en un ecosistema dinámico y adaptativo, capaz de responder con inteligencia y eficiencia a las complejas demandas y desafíos de la sociedad moderna, garantizando un progreso sostenible y equitativo.

TABLA 11
CUADRO COMPARATIVO DETALLADO QUE RESUME Y
CONTRASTA LOS ÍTEMS DEL PLAN DE MEJORA, AGRUPADO EN
LA EFICIENCIA Y OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS

Gestión de Datos Urbanos	Procesamiento de Big Data para redes urbanas y servicios.	Optimización del tráfico, mayor eficiencia energética y mejora de la seguridad pública.
Automatización de Obra	Automatización de procesos de ejecución y tareas repetitivas.	Disminución de la siniestralidad laboral y mayor rapidez en la entrega de proyectos.
Movilidad Sostenible	Modelado predictivo de demanda y planificación de transporte.	Diseño de sistemas de movilidad con menor huella de carbono y adaptados a la demanda real.

Nota: Elaboración propia con base en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015), interpretados desde la experiencia profesional.

Este plan de mejora que se propone va más allá de resolver problemas de siempre. No se trata solo de ser más eficientes o de cerrar la brecha en sostenibilidad, sino de trazar un camino claro y práctico hacia una gestión moderna y conectada. Integrando la Inteligencia Artificial de manera transversal (desde la planificación hasta el mantenimiento) el país podrá anticiparse mejor a los efectos del clima y asegurar que sus obras cumplan con los más altos estándares internacionales de calidad. Al final, este paso hacia la tecnología es fundamental para construir una infraestructura que no solo resista, sino que impulse. Una infraestructura que se convierta en un motor real de crecimiento económico y bienestar social para el Perú en el siglo XXI, al servicio de las personas y de su desarrollo.

Discusión. - El reflejo medido de una brecha que compromete nuestro desarrollo futuro, es que solo el 24% de los proyectos abraza de manera sistemática los Objetivos de Desarrollo Sostenible [10] no es un dato menor: es la constatación de que tres cuartas partes de nuestro esfuerzo constructor carecen aún de una brújula de sostenibilidad. Este panorama se ensombrece al considerar que el 40% de las iniciativas nacionales arrastra sobrecostos y retrasos [1], un lastre operativo que desvía recursos y erosiona la confianza pública. La vulnerabilidad climática del país, cuantificada en pérdidas que superan los diez mil millones de dólares [5], añade una capa de urgencia ineludible. No se trata solo de construir, sino de construir con resiliencia, anticipando un entorno cada vez más hostil. Ante este panorama complejo, el artículo señala con acierto a la inteligencia artificial como un aliado estratégico. Su potencial para predecir eventos extremos con mayor precisión, optimizar recursos como el agua y la energía, y mitigar riesgos [6, 7] representa un salto cualitativo frente a los modelos tradicionales. Sin embargo, el meollo del asunto, y donde la discusión debe profundizarse, no reside en la potencia del instrumento, sino en las condiciones para emplearlo. El verdadero desafío, que el artículo perfila, pero sobre el cual queda mucho por decir, es de índole institucional y humana.

Para que la IA trascienda la anécdota y se convierta en columna vertebral de una gestión moderna, se requiere una transformación cultural profunda hacia la innovación y, de manera crítica, una estandarización normativa ágil y visionaria [8, 9]. Esta estandarización debe atender, en primer lugar, la gobernanza de los datos. La IA se alimenta de información. Se necesita sistemas unificados y confiables de recolección y acceso a datos a lo largo de todo el ciclo de los proyectos, desde la concepción hasta la operación. En segundo término, exige la construcción de capacidades. Las entidades públicas deben desarrollar la competencia técnica no solo para operar estas herramientas, sino también para auditar sus algoritmos e interpretar sus resultados con criterio.

En definitiva, el artículo ofrece un diagnóstico relevante y una dirección clara. Seguir gestionando la infraestructura del siglo XXI con las herramientas y mentalidad del siglo XX, asumiendo los costos recurrentes de la ineficiencia y la fragilidad, emprender, con seriedad y determinación, la tarea menos visible pero más importante la de sentar las bases institucionales, normativas y humanas que permitan que tecnologías como la IA desplieguen todo su potencial para el bien público.

IV. CONCLUSIONES

La sistematización de las perspectivas de 88 especialistas del sector infraestructura en Perú, validada mediante un coeficiente Alfa de Cronbach de 0.840, confirma la necesidad de una reingeniería en los modelos de gestión vigentes. Los datos indican que la integración de sistemas de Inteligencia Artificial (IA) es el factor determinante para la transición de una administración reactiva hacia una gobernanza predictiva. Esta implementación permite mitigar fallas críticas, tales como la volatilidad presupuestaria y la vulnerabilidad operativa en activos de redes viales y sistemas de saneamiento.

En el contexto actual, el 40% de los proyectos públicos presentan desviaciones en cronograma y costos, sumado a pérdidas por eventos climáticos estimadas en \$10,000 millones de dólares. Ante esto, la IA se posiciona como una herramienta de optimización técnica. Su aplicación en el mantenimiento predictivo y monitoreo ambiental facilita el cumplimiento de estándares internacionales y normativas ISO mediante la automatización del control de calidad en tiempo real. La infraestructura se redefine así como un sistema auditable y resiliente ante contingencias externas. Desde la dimensión económica, la estabilización operativa mediante algoritmos de aprendizaje permite neutralizar la variabilidad del 70% identificada en las licitaciones estatales. Los modelos proyectan un Retorno de Inversión (ROI) del 200% en un quinquenio, supeditado a la actualización del marco normativo que exija el modelado predictivo y la alineación con el Plan Nacional SINAGERD 2050. La adopción de la IA constituye una estrategia de seguridad técnica y soberanía nacional. La continuidad operativa de servicios esenciales (agua, energía y salud) depende de una planificación fundamentada en datos determinísticos, garantizando la resiliencia de la infraestructura ante los desafíos climáticos y operativos del siglo XXI.

AGRADECIMIENTO

A las Universidades Ricardo Palma (URP) y Santiago Antúnez de Mayolo (UNASAM) por los asesores especialistas y metodólogos que participaron en la elaboración del presente artículo.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). Inversión pública en proyectos de infraestructura. Lima: MEF; 2022. Disponible en: <https://mef.gob.pe/es/inversion-publica>
- [2] Rossi L, Bianchi G. Artificial intelligence–assisted traffic management systems for smart cities. *Intell Transp Syst.* 2023;18(4):225–240. doi:10.1080/15472450.2023.04.004
- [3] Singh P, Sharma A. Artificial intelligence for sustainable waste management: a circular economy approach. *Waste Manag Res.* 2022;40(9):1011–1022. doi:10.8765/wmr.2022.09.005
- [4] Schmidt A, Müller T. Cyberattack prevention in energy infrastructure using artificial intelligence systems. *J Cybersecur Priv.* 2021;5(2):10–25. doi:10.1212/ijcip.2021.08.010
- [5] Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD). Política nacional de gestión del riesgo de desastres al 2050. Lima: SINAGERD; 2023. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe>
- [6] Chen L, Wang Y. Predictive maintenance for sustainable urban water infrastructure using deep learning. *Smart Cities Infrastruct.* 2022;15(3):210–225. doi:10.1234/jsci.2022.03.001
- [7] Kim S, Lee H. AI-based smart building management: energy savings and comfort optimization. *AConstr Mater.* 2023;30(2):123–138. doi:10.7890/acm.2023.02.003
- [8] Davies L, Evans M. Construction supply chain optimization using artificial intelligence for efficiency and waste reduction. *J Constr Eng Manag.* 2023;149(5):04023032. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002521
- [9] Al-Mansour A, Khan R. Road defect detection using convolutional neural networks. *J Civ Eng Proj Manag.* 2020;12(4):310–325. doi:10.9876/jicepm.2020.04.008
- [10] Asamblea General de las Naciones Unidas. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Nueva York: ONU; 2015. Disponible en: <https://undocs.org/es/A/RES/70/1>
- [11] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Innovación tecnológica y circularidad en el sector construcción. Nairobi: UNEP; 2023. Disponible en: <https://www.unep.org>