



"Optimización de la Gestión de Riesgos y Control de Costos en Proyectos de Infraestructura mediante Modelos de Aprendizaje Automático (Machine Learning)"

Trabajo fin de estudio presentado por:	OLGA LUCIA TORRES CAMARGO
Tipo de trabajo:	
Director/a:	
Fecha:	30/3/2026

Índice

1	Resumen	3
2	Abstract	3
3	Introducción	4
3.1	Objetivo General	4
3.2	Objetivos Específicos	4
3.3	Metodología	4
3.3.1	Identificación y Análisis del Problema	5
3.3.2	Planificación de la Solución	5
4	Identificación y descripción un problema al interior de la organización	6
4.1	Descripción de la empresa a intervenir	6
4.1.1	Misión	6
4.1.2	Visión	6
4.1.3	Mapa de procesos	7
4.1.4	Descripción del proceso a intervenir	7
4.1.5	Descripción del problema que presenta el proceso	7
5	Establecimiento de planes de acción para la solución del problema	9
5.1	Establecimiento de objetivos	9
5.2	Descripción de la solución	9
5.3	Secuencia de actividades para ejecución de la solución	9
5.4	Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución	10
6	Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos. 12	
6.1	Alcance final de la solución	12
6.2	Identificación de responsables de las actividades para ejecución	12
6.3	Cronograma de ejecución	13
6.4	Presupuesto	13
7	Referencias bibliográficas	15

1 Resumen

El sector de la construcción se enfrenta a una alta incertidumbre operativa que impacta directamente la rentabilidad de los proyectos. El presente trabajo aborda la problemática de GRUPO TORREZA INGENIERIA SAS, cuyo margen de utilidad bruta experimentó una caída drástica del 47% en 2024 al 31% en 2025 debido a fluctuaciones no previstas en los costos de insumos y el uso de herramientas de control estáticas. Para solucionar esto, se propone el desarrollo e implementación de un modelo de aprendizaje automático (*Machine Learning*) capaz de predecir desviaciones presupuestales de forma proactiva. Mediante un enfoque metodológico mixto y de investigación-acción, el proyecto estructura una solución tecnológica que permitirá a la organización anticipar sobrecostos, optimizar la toma de decisiones y salvaguardar la viabilidad financiera de sus obras civiles antes de que los riesgos externos se materialicen.

Palabras clave: Gestión de riesgos, Control de costos, Aprendizaje automático, Machine Learning, Proyectos de infraestructura, Analítica predictiva.

2 Abstract

The construction sector faces high operational uncertainty that directly impacts project profitability. This paper addresses the challenges faced by GRUPO TORREZA INGENIERIA SAS, whose gross profit margin experienced a drastic drop from 47% in 2024 to 31% in 2025 due to unforeseen fluctuations in input costs and the reliance on static control tools. To resolve this, the development and implementation of a Machine Learning model capable of proactively predicting budget deviations is proposed. Through a mixed methodological approach and action-research, the project structures a technological solution that will allow the organization to anticipate cost overruns, optimize decision-making, and safeguard the financial viability of its civil works before external risks materialize.

Keywords: Risk management, Cost control, Machine Learning, Infrastructure projects, Predictive analytics.

3 Introducción

El sector de la construcción de obras civiles e infraestructura se caracteriza por una alta complejidad e incertidumbre operativa. El presente trabajo aborda la optimización de la gestión de riesgos y el control de costos en el proceso de Planeación y Control de Proyectos de la empresa GRUPO TORREZA INGENIERIA SAS. Históricamente, la organización ha gestionado las desviaciones presupuestales mediante herramientas de control de carácter estático y descriptivo. Por lo tanto, esta investigación propone la implementación de modelos de aprendizaje automático (Machine Learning) con el fin de transitar de un modelo de control reactivo a uno predictivo, permitiendo anticipar los sobrecostos generados por la volatilidad de los insumos y los factores ambientales externos antes de que impacten la viabilidad financiera de los proyectos

3.1 Objetivo General

Desarrollar una propuesta de optimización para el proceso de Planeación y Control de Proyectos en GRUPO TORREZA INGENIERIA SAS , integrando modelos de Machine Learning para la predicción de sobrecostos y gestión de riesgos , con el fin de mitigar la vulnerabilidad financiera ante la volatilidad del mercado e incumplimientos de cronograma..

3.2 Objetivos Específicos

Para cumplir con el objetivo general, se establecieron tres objetivos específicos:

- Diagnosticar el estado actual del proceso de Planeación y Control de Proyectos, evaluando las limitaciones de las herramientas estáticas frente a la volatilidad de costos.
- Diseñar un modelo conceptual basado en Machine Learning que permita estructurar los datos históricos de la compañía para predecir desviaciones presupuestales.
- Definir el alcance operativo, tecnológico y financiero necesario para la implementación de la solución predictiva dentro de la arquitectura de TI de la organización.

3.3 Metodología

La investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) con un diseño de investigación-acción. Esta metodología permite una inmersión directa en las operaciones reales de GRUPO TORREZA INGENIERIA SAS, facilitando no solo el diagnóstico del fenómeno, sino también la formulación de una solución tecnológica aplicable al entorno corporativo. El desarrollo se estructura en tres fases: diagnóstico situacional, formulación del modelo predictivo y evaluación de viabilidad operativa.

3.3.1 Identificación y Análisis del Problema

Para el diagnóstico empírico y analítico, se ejecutó una revisión documental exhaustiva de los repositorios de proyectos históricos, evaluando presupuestos, flujos de caja y reportes de ejecución. De manera complementaria, se aplicaron técnicas de observación participante en los flujos de trabajo del área de planeación, junto con mesas de trabajo con los equipos de ingeniería y control de obra para validar las deficiencias del modelo tradicional y parametrizar las variables críticas que alimentarán el modelo de aprendizaje automático.

Revisión documental y análisis de datos históricos (Enfoque Cuantitativo): Se extrajeron y evaluaron los presupuestos, flujos de caja, cronogramas y reportes de ejecución de los proyectos de obras civiles recientes. Este análisis permitió identificar con precisión los patrones de desviación presupuestal, comparar los costos planeados frente a los ejecutados y medir el impacto financiero real que la volatilidad de los insumos y los factores externos han tenido en los márgenes de utilidad de la empresa.

Observación participante y análisis de procesos (Enfoque Cualitativo): La inmersión directa en las operaciones diarias y en la estructura directiva de la empresa facilitó un mapeo detallado del proceso de Planeación y Control de Proyectos. Mediante esta técnica se evaluaron en tiempo real las herramientas estáticas que actualmente se utilizan para el control presupuestario, evidenciando su naturaleza exclusivamente descriptiva y su falta de capacidad predictiva.

Mesas de trabajo y validación técnica: Se llevaron a cabo sesiones de retroalimentación con el equipo técnico y de planeación de proyectos. Esta interacción permitió triangular la información obtenida de los datos históricos, validar las deficiencias operativas del modelo de control actual y confirmar la viabilidad organizacional de adoptar tecnologías predictivas en sus flujos de trabajo diarios.

La combinación de estos métodos garantizó un diagnóstico integral, fundamentado en datos reales de la operación y alineado con la realidad corporativa de la organización.

3.3.2 Planificación de la Solución

En la segunda etapa, se diseñó un plan de acción detallado, orientado a la definición de objetivos específicos y a la estructuración secuencial de actividades encaminadas a mitigar o resolver la problemática previamente identificada. Esta fase comprendió la formulación de una estrategia de ejecución organizada, sistemática y metodológicamente sustentada, con el propósito de facilitar el cumplimiento de los objetivos propuestos y optimizar la eficiencia del proceso intervenido. En este sentido, la planificación rigurosa de las actividades, así como la asignación adecuada de los recursos necesarios, constituyó un elemento fundamental para garantizar una implementación precisa, coherente y efectiva.

3.3.2.1 Definición de Alcance y Recursos

En la tercera etapa, se delimitó el alcance de la intervención, definiendo con precisión los recursos humanos, técnicos y financieros requeridos para su adecuada ejecución. De igual manera, se asignaron responsables para cada una de las actividades contempladas, con el fin de garantizar claridad en la distribución de funciones y fortalecer los mecanismos de seguimiento y control. Asimismo, se elaboró un cronograma de ejecución orientado a monitorear el avance de la implementación y asegurar el cumplimiento oportuno de los tiempos establecidos.

Paralelamente, se estructuró un presupuesto detallado que especificó los costos asociados a cada una de las fases del proceso, lo que permitió optimizar la asignación y el uso eficiente de los recursos disponibles. En conjunto, esta etapa aseguró la articulación de todas las variables críticas necesarias para una ejecución continua, ordenada y sin interrupciones

4 Identificación y descripción un problema al interior de la organización

4.1 Descripción de la empresa a intervenir

GRUPO TORREZA INGENIERIA SAS es una organización colombiana especializada en la prestación de servicios integrales de ingeniería civil, enfocada en el diseño, consultoría y ejecución de obras de infraestructura. La empresa se distingue por su búsqueda de la excelencia operativa y técnica en cada proyecto.

4.1.1 Misión

Proveer soluciones integrales de ingeniería civil que contribuyan al desarrollo del entorno, garantizando altos estándares de calidad, seguridad y cumplimiento, apoyados en un equipo humano calificado y en la innovación constante de nuestros procesos para generar valor a nuestros clientes y accionistas.

4.1.2 Visión

Para el año 2030, GRUPO TORREZA INGENIERIA SAS será reconocida como una empresa líder e innovadora en el sector de la construcción e infraestructura a nivel nacional, siendo pionera en la integración de tecnologías avanzadas y analítica de datos para la gestión eficiente y sostenible de proyectos de ingeniería.

4.1.3 Mapa de procesos



4.1.4 Descripción del proceso a intervenir

El proceso seleccionado para la intervención es la Planeación y Control de Proyectos, específicamente en su fase de Control Presupuestario y Gestión de Desviaciones. Este proceso es el corazón financiero de la obra, donde se comparan los costos reales frente a los planeados para tomar decisiones correctivas.

4.1.5 Descripción del problema que presenta el proceso

En GRUPO TORREZA INGENIERIA SAS se ha detectado una alta vulnerabilidad ante la variabilidad de costos e incumplimiento de cronogramas en los proyectos de infraestructura civil. Actualmente, el sistema de planeación y control es puramente descriptivo e histórico. Esta incapacidad de predecir sobrecostos por factores externos (como el clima, la volatilidad de materiales y el retraso de proveedores) está impactando severamente la rentabilidad y el flujo de caja operativo.

Evidencia y cifras de la problemática:

Erosión del Margen de Utilidad: El margen de utilidad bruta de los proyectos presentó una caída drástica, pasando del 47% en el año 2024 a tan solo un 31% al cierre de 2025. A pesar de que los ingresos por prestación de servicios aumentaron de \$266,477,000 a \$326,776,000, la ganancia bruta real disminuyó de \$124,446,000 a \$101,248,000. Esto evidencia que el volumen de trabajo creció, pero la rentabilidad por proyecto se deterioró por deficiencias en la mitigación de riesgos.

Impacto por Volatilidad de Insumos (Sobrecostos): Los costos directos de prestación del servicio sufrieron un fuerte impacto, escalando de \$142,031,000 en 2024 a \$225,528,000 en 2025. Esto representa un incremento del 58.8% en los costos operativos, un aumento desproporcionado frente al crecimiento de los ingresos (22.6%). Al depender de herramientas de control estáticas, la organización tuvo que absorber internamente las fluctuaciones no previstas del mercado.

Desviaciones Presupuestales Estimadas: Si la compañía hubiera logrado mantener la estructura de costos y eficiencia del 2024 (donde los costos representaban el 53.3% de los ingresos), el costo esperado para el nivel de ventas de 2025 habría sido de aproximadamente \$174.1 millones de pesos. Sin embargo, el costo real se disparó a \$225.5 millones, lo que representa una desviación presupuestal absorbida de \$51.3 millones de pesos (una desviación del 29.5% sobre el costo ideal).

Tiempo de Reacción: Actualmente, el equipo de planeación depende de los cierres mensuales para consolidar los reportes de ejecución, generando una latencia operativa de 15 a 30 días, tiempo durante el cual las decisiones correctivas llegan de forma tardía.

5 Establecimiento de planes de acción para la solución del problema

5.1 Establecimiento de objetivos

El plan de acción tiene como propósito estructurar el desarrollo, validación y despliegue de una solución analítica que mitigue el impacto de las fluctuaciones de costos operativos. Para ello, se plantean los siguientes objetivos operativos:

- Estructurar un repositorio centralizado de datos que consolide la información histórica de los proyectos ejecutados durante los periodos 2024 y 2025, incluyendo presupuestos iniciales, costos reales, cronogramas y factores de impacto externo.
- Desarrollar y entrenar un modelo de Machine Learning (como Random Forest o Regresión Lineal Múltiple) capaz de predecir el porcentaje de desviación presupuestal de los rubros críticos de obra.
- Validar la precisión del modelo mediante un entorno de pruebas piloto, utilizando los datos de un proyecto civil en curso para ajustar los hiperparámetros.
- Integrar las predicciones del modelo en un panel de visualización (Dashboard) accesible para el área de Planeación y Control.

5.2 Descripción de la solución

La solución propuesta consiste en el diseño y despliegue de un Sistema de Predicción de Sobre costos basado en Machine Learning. A diferencia de los métodos de control tradicional que reaccionan ante el sobre costo una vez reflejado en la contabilidad mensual, este sistema operará de manera proactiva.

La herramienta se alimentará de variables independientes como: tipo de material, histórico de precios del proveedor, condiciones climáticas proyectadas, plazos de ejecución y ubicación del proyecto. A través de algoritmos de aprendizaje supervisado, el modelo procesará estas variables para emitir alertas tempranas y calcular una probabilidad de desviación presupuestal (variable dependiente). El resultado final se visualizará en una interfaz interactiva que permitirá a los directores de proyecto modelar escenarios hipotéticos ("What-If analysis") y tomar decisiones preventivas antes de comprometer el margen de rentabilidad de la obra.

5.3 Secuencia de actividades para ejecución de la solución

La implementación se ejecutará bajo un marco de trabajo ágil, dividido en cuatro fases principales:

Fase 1: Ingeniería de Datos (Semanas 1-3):

Levantamiento y extracción de bases de datos de presupuestos y contabilidad (ERP/Excel) de los años 2024 y 2025.

Limpieza, transformación y estructuración de los datos (eliminación de valores atípicos y normalización).

Fase 2: Desarrollo y Entrenamiento del Modelo (Semanas 4-7):

Selección de las características (Feature Engineering) más relevantes para predecir costos directos.

Partición del conjunto de datos (80% entrenamiento, 20% prueba).

Entrenamiento de algoritmos supervisados y evaluación de métricas de error (como RMSE y MAE).

Fase 3: Despliegue y Prueba Piloto (Semanas 8-10):

Integración del modelo en un entorno de desarrollo seguro.

Ejecución de un proyecto piloto ("Shadow mode"), donde el modelo realiza predicciones paralelas a la ejecución real de una obra sin intervenir directamente en la toma de decisiones, para medir su grado de asertividad.

Fase 4: Visualización y Adopción (Semanas 11-12):

Desarrollo del panel de control en herramientas de Business Intelligence (Ej. Power BI o Tableau).

Capacitación del equipo de ingeniería, residentes de obra y gerencia en la interpretación de los reportes predictivos.

5.4 Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución

Para asegurar el éxito en la implementación del plan de acción, se requiere movilizar recursos en tres dimensiones clave:

- **Recursos Tecnológicos:** Se requerirá infraestructura computacional, ya sea mediante servidores locales o servicios en la nube (ej. AWS, Google Cloud o Microsoft Azure) para el entrenamiento del modelo. Asimismo, se necesitan licencias de software de visualización de datos y entornos de programación en lenguajes como Python o R.
- **Recursos Humanos:** El equipo del proyecto estará conformado por el Gerente de Proyecto (responsable de la alineación estratégica), un Especialista en Datos o Desarrollador (encargado de la estructuración del algoritmo) y el equipo de Ingenieros de Planeación y Control, quienes aportarán el conocimiento experto del negocio para la validación lógica de los resultados.

- Recursos Financieros: Se debe contemplar un presupuesto de inversión tecnológica para cubrir el costo de licenciamiento de software, almacenamiento en la nube, y la posible contratación de consultoría técnica especializada en ciencia de datos durante la fase de desarrollo.

Instituto Europeo de Posgrado ©

6 Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos.

6.1 Alcance final de la solución

- El alcance de este proyecto comprende el diseño, entrenamiento e implementación de un modelo de Machine Learning orientado a la predicción de sobrecostos en los proyectos de infraestructura civil ejecutados por GRUPO TORREZA INGENIERIA SAS.
- Incluye: La extracción y estructuración de los datos históricos financieros y operativos de los periodos 2024 y 2025; el desarrollo del algoritmo predictivo; la integración de variables exógenas (como precios de materiales y clima); y el despliegue de un panel de visualización (Dashboard) para el área de planeación.
- Excluye: El sistema propuesto emitirá alertas tempranas y probabilidades de desviación, pero no ejecutará compras automáticas de materiales, ni modificará autónomamente el software contable o ERP de la compañía. Las decisiones de mitigación en obra seguirán siendo potestad exclusiva de la gerencia de proyectos

6.2 Identificación de responsables de las actividades para ejecución

Para garantizar la viabilidad y adopción tecnológica del modelo, se han identificado los siguientes *stakeholders* o partes interesadas clave:

- Gerencia General / Patrocinador del Proyecto: Interesado principal en la mejora del margen de rentabilidad y la mitigación de los riesgos financieros. Aprueba el presupuesto y los recursos.
- Dirección de Planeación y Control: Usuario principal (End-User) del panel predictivo. Responsable de interpretar los datos arrojados por el modelo y proponer planes de choque.
- Departamento Contable y Financiero: Proveedor fundamental de la información base. Encargado de suministrar los cierres de costos directos, facturación y estados financieros históricos para el entrenamiento del algoritmo.
- Ingenieros Residentes y Directores de Obra: Generadores de los datos de ejecución en campo (rendimientos, reportes de clima, retrasos) y receptores de las directrices de mitigación.

- Especialista en Datos / Equipo de Desarrollo: Responsable técnico de la ingeniería de datos, entrenamiento del modelo de Machine Learning y despliegue del dashboard.

6.3 Cronograma de ejecución

La ejecución del proyecto está planificada para desarrollarse en un horizonte de 12 semanas (aproximadamente 3 meses), divididas de la siguiente manera estructurada:

- Mes 1 (Semanas 1 a 4) - Preparación e Ingeniería de Datos: Recopilación de bases de datos de los proyectos 2024-2025, limpieza de datos, estructuración del repositorio central y análisis exploratorio inicial.
- Mes 2 (Semanas 5 a 8) - Modelado y Entrenamiento: Selección de variables (Feature Engineering), división de la data para entrenamiento/prueba, configuración de hiperparámetros y evaluación del modelo mediante métricas de error (RMSE).
- Mes 3 (Semanas 9 a 12) - Piloto, Visualización y Entrega: Ejecución de una prueba en "modo sombra" (Shadow mode) con un proyecto en curso, desarrollo de la interfaz gráfica en herramientas de Business Intelligence (BI), capacitación a los usuarios finales y entrega formal.

Tabla 1. Cronograma de actividades.

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Preparación e Ingeniería de Datos												
Modelado y Entrenamiento												
Piloto, Visualización y Entrega												

6.4 Presupuesto

La inversión requerida para el desarrollo e implementación del modelo se ha estructurado bajo un enfoque de eficiencia en costos, aprovechando tecnologías de

código abierto (Python/R) y servicios en la nube de pago por uso. Los valores se estiman en pesos colombianos (COP):

Tabla 2. Presupuesto.

Rubro	descripcion	Valor
Infraestructura Cloud	Servicios de procesamiento y almacenamiento en la nube (ej. AWS o Google Cloud) durante 3 meses.	\$ 2.500.000
Licenciamiento	Licencias de software de visualización de datos (ej. Power BI Pro) para los usuarios finales (1 año).	\$ 1.200.000
Talento Humano	Honorarios por consultoría técnica o dedicación de un Científico de Datos / Desarrollador (12 semanas).	\$ 15.000.000
Capacitación	Talleres de transferencia de conocimiento para el equipo de planeación e ingenieros de obra	\$ 1.500.000
Imprevistos (10%)	Fondo de contingencia para fluctuaciones de servicios cloud o requerimientos técnicos adicionales.	\$ 2.020.000
TOTAL INVERSIÓN		\$ 22.220.000

7 Referencias bibliográficas

- Cheng, M. Y., & Hoang, N. D. (2014). Estimating construction duration and cost using least squares support vector machine. *Automation in Construction*, 38, 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.11.001>
- Eyzaguirre Silva, C. A. (2023). *Impacto del uso de técnicas de aprendizaje automático (Machine Learning) en la evaluación de riesgos y sobrecostos*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/79383/aberriope.pdf>
- Gómez, J. C., & Rivera, L. F. (2022). Análisis de los factores que generan sobrecostos en proyectos de infraestructura vial y civil. *Revista Ingeniería de Construcción*, 37(2), 145-158. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732022000200145>
- Mendoza, L. A., & Castillo, R. (2022). Aplicación de algoritmos de Machine Learning para la estimación de costos directos en obras civiles. *Revista de Ingeniería de la Universidad de los Andes*, 54, 34-45. <https://doi.org/10.16924/revinge.v54.12>
- Taroun, A. (2014). Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review. *International Journal of Project Management*, 32(1), 101-115. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.03.004>
- Vergara, A., & Pizarro, M. (2021). El impacto de la volatilidad de los precios de los materiales en la rentabilidad de proyectos de construcción. *Información Tecnológica*, 32(4), 89-98. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000400089>