UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Modelo de gestión de recursos para la optimización de proyectos integrando técnicas de Inteligencia Artificial

Carolina Herrera Arredondo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión
Medellín, Colombia

2025

Modelo de gestión de recursos para la optimización de proyectos integrando técnicas de Inteligencia Artificial

Carolina Herrera Arredondo

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Analítica

Director (a):

Jovani Alberto Jiménez Builes, Ph. D.

Línea de Investigación:

Inteligencia Artificial

Grupo de Investigación:

Inteligencia Artificial en Educación

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión

Medellín, Colombia

2025

A mi familia por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

A Dios inicialmente por presentar en mi camino esta oportunidad, que me permitió crecer y desarrollar nuevas habilidades. Al profesor Jovani Alberto Jiménez Builes por su acompañamiento durante este proceso, sus consejos y recomendaciones que me permitieron culminar esta etapa satisfactoriamente. A la profesora María Constanza Torres Madroñero por compartir sus conocimientos y asesoría en la parte práctica de este trabajo. A la organización que dispuso los datos de sus proyectos de investigación para el desarrollo del caso de estudio que se realiza en el presente trabajo de grado. A Daniel Chanci Restrepo por estar presente en cada etapa de este proceso, por su apoyo incondicional, palabras de ánimo y acompañamiento.

Resumen

Modelo de gestión de recursos para la optimización de proyectos integrando técnicas de Inteligencia Artificial

La gestión de recursos es una parte fundamental de la gestión de proyectos, pues gracias a ella los gestores, mediante planificaciones determinan previamente qué recursos requieren para la ejecución de un proyecto, partiendo desde una identificación rigurosa de necesidades y siendo éstas cuantificadas por medio de la estimación del presupuesto requerido para su ejecución. En este caso, al ser el presupuesto un recurso limitado, es necesario realizar formulaciones precisas que permitan la optimización del capital y minimicen el riesgo de incurrir en sobrecostos o el incumplimiento de los objetivos.

Este trabajo aplica técnicas de analítica de datos e inteligencia artificial para predecir el presupuesto total de proyectos de investigación a partir de características propias de estos. Una vez ejecutados los seis modelos seleccionados, Random Forest mostró el mejor desempeño para predecir el costo total de un proyecto.

El modelo seleccionado se reconoce como una herramienta estratégica de apoyo que puede ser integrada para la toma de decisiones en la optimización de recursos en proyectos.

Palabras clave: inteligencia artificial, gestión de proyectos, gestión de recursos, presupuestos, analítica de datos.

Abstract

Resource management model for project optimization integrating Artificial Intelligence techniques

Resource management is a fundamental part of project management, as it allows managers, through planning, to determine in advance which resources are required for the execution of a project. This process begins with a rigorous identification of needs, which are then quantified through the estimation of the budget necessary for execution. In this case, since the budget is a limited resource, it is essential to make accurate formulations that allow for capital optimization and minimize the risk of cost overruns or failure to meet objectives.

This work applies data analytics and artificial intelligence techniques to predict the total budget of research projects based on their inherent characteristics. After executing the six selected models, Random Forest showed the best performance in predicting the total cost of a project.

The selected model is recognized as a strategic support tool that can be integrated into decision-making for the optimization of resources in projects.

Keywords: artificial intelligence, project management, resource management, budgeting, data analytics.

Contenido

Pág.

Resumen ..... **V**

Lista de figuras ..... **IX**

Lista de tablas ..... **X**

Lista de Símbolos y abreviaturas **11**

1. Introducción **12**
1.1 Planteamiento del problema 13
1.2 Preguntas de investigación 14
1.2.1 Pregunta Global 14
1.2.2 Preguntas específicas 14
1.3 Objetivos 15
1.3.1 Objetivo General 15
1.3.2 Objetivos Específicos 15
1.4 Justificación 15

2. Marco teórico **19**
2.1 Proyectos 19
2.2 Gestión de Proyectos 20
2.3 Recursos 20
2.4 Gestión de recursos en proyectos 21
2.5 Inteligencia artificial 21

3. Estado del arte **22**
3.1 Criterios de selección 22
3.2 Fuentes de información 23
3.3 Estrategia de búsqueda 24
3.4 Proceso de selección y recopilación 25
3.5 Resultados encontrados 28

4.Metodología **35**
4.1 Determinación de las necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos 36
4.2 Caracterización de las diferentes técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos 36
4.3 Composición de un conjunto de elementos que permita la integración de gestión de recursos y al menos una técnica de la inteligencia artificial, visando la optimización de proyectos 36

4.4 Validación del modelo anterior, a través del análisis de un caso de uso 37

5. Desarrollo de la metodología 38
5.1 Etapa 1: Determinación de las necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos 38
5.1.1 Actividad 1. Identificación de las principales necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos 38
5.1.2 Actividad 2. Evaluación del impacto ocasionado por las necesidades identificadas en la gestión de recursos en los proyectos. 45
5.2 Etapa 2: Caracterización de las diferentes técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos 47
5.2.1 Actividad 1. Revisión de las técnicas de inteligencia artificial que se utilizan en la gestión de proyectos 47
5.2.2 Actividad 2. Análisis de casos de éxito y limitaciones de las técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos 51
5.3 Etapa 3: Composición de un conjunto de elementos que permita la integración de gestión de recursos y al menos una técnica de la inteligencia artificial, visando la optimización de proyectos 54
5.3.1 Actividad 1. Identificación de los elementos necesarios para integrar la gestión de recursos y una técnica de inteligencia artificial en una solución que permita la optimización de proyectos 54
5.3.2 Actividad 2. Esquematización de la solución integrada de gestión de recursos y la técnica de inteligencia artificial seleccionada. 57
5.4 Validación del modelo anterior, a través del análisis de un caso de uso 58
5.4.1 Actividad 1. Selección de un caso de estudio adecuado que permita validar el modelo diseñado en las fases anteriores. 58
5.4.2 Actividad 2. Implementación del modelo y evaluación de los resultados obtenidos. 77

6. Conclusiones y Trabajo Futuro 88
6.1 Conclusiones 88
6.2 Trabajo Futuro 89

Bibliografía 90

Lista de figuras

Figura 4-1: Metodología de desarrollo del proyecto 35
Figura 5-1: Síntesis de la Identificación de las principales necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos 39
Figura 5-2: Síntesis de las áreas funcionales de la IA que pueden impulsar el desarrollo de la gestión estratégica de proyectos. 52
Figura 5-3: Esquematización de solución integrada 58
Figura 5-4: Cultivo de café en Colombia 59
Figura 5-5: Variables tipo fecha (excepto TOTAL) antes del preprocesamiento. 63
Figura 5-6: Variables tipo fecha (excepto TOTAL) después del preprocesamiento. 64
Figura 5-7: Información inicial del *dataframe* usado 67
Figura 5-8: Distribución de los subniveles en la columna Disciplina 68
Figura 5-9: Relación entre Costos y Disciplina 69
Figura 5-10: Nueva distribución de los subniveles de Disciplina 70
Figura 5-11: Boxplot comparativo de disciplina con diferencia entre duraciones. 70
Figura 5-12: Identificación de valores atípicos 71
Figura 5-13: Análisis de distribución de las variables 72
Figura 5-14: Distribución de la variable diferencia_duracion 73
Figura 5-15: Distribución de variables posterior a transformación logarítmica. 73
Figura 5-16: Dataset escalado 74
Figura 5-17: Matriz de correlación de variables 75
Figura 5-18: Comparación de predicciones de modelos vs valores reales 80
Figura 5-19: Análisis SHAP de las variables independientes. 83

Lista de tablas

Pág.
Tabla 3-1: Aplicativos de conversaciones digitales (*Chatbot*) utilizados en la búsqueda. 23
Tabla 3-2 Bases de datos utilizadas en la fase de búsqueda. 23
Tabla 3-3 Palabras clave empleadas en las consultas de búsqueda. 24
Tabla 3-4: Algoritmos para las consultas de búsqueda en las bases de datos 24
Tabla 3-5: Resultados de la búsqueda de artículos. 25
Tabla 3-6: Palabras clave empleadas en la segunda consulta de búsqueda. 27
Tabla 3-7: Resultados de la segunda búsqueda de artículos. 28
Tabla 3-8: Resultados encontrados en los trabajos publicados. 29
Tabla 3-9: Resultados encontrados en los trabajos publicados. 31
Tabla 3-10: Resultados encontrados en los trabajos publicados. 33
Tabla 5-1 Riesgos de la identificación de necesidades de recursos en proyectos 43
Tabla 5-2: Condiciones que factores de riesgo en la gestión de recursos en proyectos 44
Tabla 5-3: Condiciones que factores de riesgo en la gestión de recursos en proyectos 45
Tabla 5-4: Limitaciones y desafíos con base en revisión de literatura realizada. 53
Tabla 5-5: Descripción de las métricas de evaluación de los métodos. 57
Tabla 5-6: Variables *Dataset* Consolidado. 65
Tabla 5-7: Algoritmos usados para modelo ML 78
Tabla 5-8: Hiperparámetros a evaluar. 78
Tabla 5-9: Hiperparámetros ajustados en entrenamiento. 79
Tabla 5-10: Resultados de Evaluación de modelos. 80
Tabla 5-11: Métricas en el nuevo conjunto de datos optimizado usando RFE con Random Forest. 84
Tabla 5-12: Métricas en el nuevo conjunto de datos optimizado usando RFE con Linear Regression. 85

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
ERP	Enterprise Resource Planning
LR	Linear Regression
NN	Neural Network
RF	Random Forest
MAE	Mean Absolute Error
MSE	Mean Square Error
RMSE	Root Mean Square Error

1. Introducción

Los proyectos se han convertido en un punto clave para el desarrollo económico y social de las organizaciones y la comunidad donde se ejecutan, pues a través de ellos, se combinan y potencian diferentes tipos de recursos, que permiten generar soluciones, ideas y descubrimientos que operan en diversos entornos.

Siendo los proyectos concebidos como motores de transformación, es importante tener en cuenta la complejidad que engloban durante todo su ciclo de vida que parte desde la formulación hasta la ejecución y cierre de los mismos. Frente a ello, la gestión de recursos en los proyectos, suele ser un área de gran envergadura que requiere de atención, pericia y detalle en la asignación del presupuesto, esto con el fin de optimizar los recursos y evitar en gran medida los sobrecostos que pueden poner en peligro el logro de los objetivos y entregables de un proyecto.

En esta misma línea, para la formulación de presupuestos en proyectos y la asignación de recursos, se hace necesario realizar un análisis exhaustivo que permita identificar los diferentes tipos de recursos (materiales, tecnológicos, equipos y software, servicios y contratación de personal, entre otros) que son requeridos en el proyecto, teniendo siempre en cuenta que el presupuesto es de carácter limitado y por ende, el desafío en su designación es un factor vital para su éxito.

Bajo este contexto, la inteligencia artificial por medio de técnicas como algoritmos de aprendizaje supervisado se posiciona como una herramienta de gran valor que al ser integrada en la gestión de recursos en proyectos por medio del análisis de datos históricos de proyectos formulados y ejecutados, permite una solución innovadora que puede apoyar

los procesos de asignación de presupuestos / recursos en proyectos de modo que las estimaciones se realicen de forma más precisa y permitan la optimización de toma de decisiones a nivel financiero.

1.1 Planteamiento del problema

La gestión de proyectos permite a las organizaciones realizar proyectos por medio de una combinación de conocimientos, destrezas y herramientas. Esta disciplina, cobra importancia pues gracias a una correcta ejecución se logra cumplir metas planteadas con un adecuado uso de los recursos de los cuales se dispone, pues estos son limitados y por lo tanto deben ser gestionados de la mejor forma posible para de esta forma llevar a la generación de valor por medio de una adecuada planificación, asignación e implementación.

He ahí, donde surge la importancia de la gestión de recursos en los proyectos, dado que estos influyen directamente en el éxito de este, (Gopalakrishnan Nair & Al Falasi, 2021) es en este punto, donde la correcta estimación y predicción de los recursos para la ejecución del proyecto se convierte en una ficha clave para el gestor de proyectos, quien por medio de su experiencia, saberes y habilidades, debe procurar desde un inicio una planificación alineada de todos aquellos recursos necesarios para la ejecución del proyecto y cumplimiento de los indicadores planteados en un principio.

No obstante, es imposible ignorar que el mundo de los proyectos es un mundo cambiante, en el cual, las capacidades de adaptación al cambio, flexibilidad, resiliencia y enfoque en las soluciones debe ser una característica constante. En este sentido, a pesar de que al momento de planificar un proyecto se toman en cuenta ciertas consideraciones iniciales que permiten realizar una estimación previa de todo aquello que es fundamental para el proyecto, es importante tener en cuenta que estos parámetros iniciales suelen tener que replantearse a lo largo de la ejecución para adaptarse a los cambios en los requerimientos, objetivos, nuevas condiciones actuales y desafíos que se van mostrando en el camino hacia el logro.

En línea con lo anterior, es fundamental reconocer la complejidad de los proyectos, pues debido a que son multifacéticos, la gestión de los recursos se convierte en una tarea

desafiante, donde se debe dar óptimo manejo a una gran cantidad de datos y variables, que permitan tomar decisiones informadas sobre la asignación y gestión de recursos para mejorar el rendimiento del proyecto.
Es relevante destacar que para las organizaciones que hoy en día laboran con proyectos, este mundo turbulento, les implica un desafío que implica modificaciones en sus procesos y formas de pensar, dado que el tener continuamente que reinventarse y propiciar ambientes de desarrollo de proyectos les implica un cambio importante, que trae consigo óptimos resultados si se realiza una gestión acertada de proyectos.

Finalmente, es fundamental reconocer que la gestión de proyectos implica la gestión de recursos de múltiple índole, los cuales representan en gran medida el éxito o fracaso de un proyecto, pues una sobre asignación o subasignación de presupuesto ocasiona un desequilibrio en el sistema e implica que exista un desgaste mayor, carencia al final o el no aprovechamiento óptimo, lo cual impida el cumplimiento de los objetivos propuestos, llevando así a que se presenten no conformidades.

1.2 Preguntas de investigación

1.2.1 Pregunta Global

Teniendo en cuenta el problema identificado en la sección anterior, se ha trazado la siguiente pregunta de investigación global: ¿es posible diseñar un modelo de gestión de recursos para la optimización de proyectos integrando técnicas de inteligencia artificial?

1.2.2 Preguntas específicas

Para esbozar la anterior pregunta global, se han trazado otras preguntas de investigación concretas, a saber:

¿Cómo determinar las necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos?

¿Cuáles son las características de las diferentes técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos?

¿Cómo componer un conjunto de elementos que permita la integración gestión de recursos y al menos una técnica de la inteligencia artificial, visando la optimización de proyectos?

¿Cómo validar el modelo anterior, a través del análisis de un caso de uso?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

El objetivo general trazado para el presente proyecto de trabajo de grado, dentro de la Maestría en Ingeniería - Analítica, es:

- Diseñar un modelo de gestión de recursos para la optimización de proyectos integrando técnicas de inteligencia artificial.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para lograr el objetivo general, se han trazado cuatro objetivos específicos, a saber:

- Determinar las necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos.
- Caracterizar las diferentes técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos.
- Componer un conjunto de elementos que permita la integración gestión de recursos y al menos una técnica de la inteligencia artificial, visando la optimización de proyectos.
- Validar el modelo anterior, a través del análisis de un caso de uso.

1.4 Justificación

La gestión de proyectos se ha convertido en una disciplina de gran importancia dentro de las organizaciones. Gracias a una adecuada planeación y ejecución, las organizaciones pueden cumplir sus objetivos obteniendo buenos resultados y generando valor para sus

stakeholders. La gestión de proyectos involucra múltiples aspectos, incluyendo la identificación de objetivos y requerimientos, definición de alcance, asignación de tareas, gestión de recursos, seguimiento del avance y gestión de riesgos (Project Management Institute Inc, 2013).

A través de una gestión eficaz, los proyectos pueden ser entregados a tiempo, dentro del presupuesto y con la calidad requerida. También permite una mayor transparencia y comunicación en las organizaciones, al establecer objetivos claros y definir roles y responsabilidades de manera explícita.

Este trabajo toma como foco la gestión de recursos en los proyectos, dado que es el componente esencial en la gestión de los mismos. Éste permite a los gerentes o gestores de proyectos, lograr la optimización del presupuesto disponible para lograr las metas e indicadores. En este sentido, es fundamental tener en cuenta que la gestión de recursos puede ser un proceso complejo que involucra todo un proceso que parte desde la identificación, adquisición y asignación de recursos tanto humanos como financieros, materiales, intangibles, entre otros. Es por lo anterior, que una gestión efectiva, puede ser la diferencia entre el éxito o fracaso de un proyecto.

La gestión de recursos permite a los gestores de proyecto tomar mejores decisiones al contar con información valiosa y oportuna que les permite conocer cómo asignar y usar los recursos de una forma óptima. Si bien, en la fase de planificación y estimación de recursos se cuenta con una visión clara sobre los recursos que se requieren para la ejecución del proyecto y por lo tanto se puede plantear el mejor uso de los mismos para tomar medidas preventivas, evitando así, retrasos y mitigando riesgos; es importante, reconocer que el contexto en el que se desarrollan los proyectos implica desafíos constantes que requieren una adaptabilidad a los cambios.

Para lo anterior, se establecen estrategias que permiten responder a cambios en los precios de los insumos, maquinaria, equipos, herramientas y la disponibilidad de los mismos, también del talento humano y sobrecostos en procesos financieros que previamente se habían estimado por un menor valor. Entre otros múltiples casos que

pueden suceder y ocasionan que el logro de los objetivos del proyecto entre en riesgo, si no se cuenta con capacidades y herramientas flexibles para replantear y continuar.

Una gestión de recursos óptima es una ficha clave que toma en cuenta que los recursos para un proyecto son limitados y costosos, y que, por ende, una mala gestión de estos puede afectar de forma negativa al proyecto en cuanto a tiempos, costos y calidad e incitando al no cumplimiento de objetivos.

Finalmente, es importante mencionar que al ser la gestión de recursos uno de los pilares claves en la gestión de proyectos, es relevante que las organizaciones y específicamente los gestores de proyectos cuenten con herramientas eficientes y eficaces que les permitan realizar todo el proceso de forma integral. Lo anterior, permitirá lograr flexibilidad, modificaciones y mayor precisión. Algunas de las herramientas empleadas en las organizaciones para este fin van desde:

- Hojas de cálculo, pueden ser una herramienta útil para la gestión de recursos en proyectos más pequeños y simples, ya que son de fácil acceso y no requieren de una gran inversión. Sin embargo, existe mayor riesgo a errores e imprecisiones al ser esto realizado por el ser humano. Además de que su eficiencia es limitada para proyectos de grandes proporciones y complejos.

- Aplicativos informáticos de gestión de proyectos, que si bien permiten llevar un control más avanzado de recursos, tareas y presupuestos, suele ser costosa su adopción, la curva de aprendizaje es inclinada, y además son poco flexibles para adaptarse a los cambios en los proyectos.

- Sistemas ERP que son utilizados para la gestión de recursos en proyectos ya que permiten integrar múltiples procesos en una única plataforma. Sin embargo, su implementación es costosa y requiere de una importante inversión en tiempo y recursos.

- La inteligencia artificial es una herramienta emergente en la gestión de recursos en proyectos, que promete optimizar la asignación de recursos y el monitoreo del progreso del proyecto en tiempo real. Este instrumento puede ser entrenado para identificar patrones y tendencias en el uso de los recursos, lo que permite hacer ajustes y tomar decisiones informadas en tiempo real; aunque aún se encuentra en etapas de desarrollo.

Frente a esta última herramienta, este trabajo pretende identificar cómo esta disciplina creciente puede ser una pieza útil en la gestión de recursos en los proyectos para responder a los desafíos presentes en el proceso. Además, se espera que, aporte información valiosa a los gestores de proyectos para la toma de decisiones informadas y eficientes. También que los resultados obtenidos sirvan como base para futuras investigaciones y desarrollos en el uso de esta herramienta en la gestión de proyectos.

2. Marco teórico

A continuación se relacionan los conceptos en los que se enmarca la propuesta del presente proyecto de trabajo de grado de Maestría en Ingeniería – Analítica, a saber:

2.1 Proyectos

El Project Management Institute (PMI) define proyecto como “un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (Project Management Institute Inc, 2013, pág. 3). Esta definición implica que un proyecto tiene las siguientes características:

- Es temporal: significa que tiene un inicio y una fecha de finalización definidos.

- Es único: implica que el proyecto se realiza solo una vez y tiene un objetivo claro y específico.

- Tiene un alcance definido: el proyecto tiene un conjunto específico de objetivos y entregables que deben lograrse.

- Es llevado a cabo por un equipo: el proyecto requiere de un grupo de personas con habilidades y conocimientos específicos para lograr los objetivos del proyecto.

- Utiliza recursos limitados: el proyecto tiene un presupuesto y recursos específicos disponibles para lograr los objetivos del proyecto.

Otra definición de proyecto es: “un proceso único que conlleva un conjunto de actividades planificadas, ejecutadas y evaluadas que, con recursos humanos, técnicos y financieros finitos, trata de obtener unos objetivos en un plazo determinado, con un comienzo y un fin claramente identificables” (Carrión Rosende & Berasategi Vitoria, 2010, pág. 12)

2.2 Gestión de Proyectos

La dirección de proyectos es “la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades para cumplir con los requisitos del mismo” (Project Management Institute Inc, 2013).

Según el PMI, lo anterior se logra por medio de la aplicación e integración de procesos de dirección de proyectos, categorizados en cinco grupos de procesos, a saber: Inicio, Planificación, Ejecución, Monitoreo y control y Cierre.

El International Project Management Association, ICB (2006) define que la gestión de proyectos es la planificación, organización, seguimiento y control de todos los aspectos del proyecto, con la motivación de todos incluidos para lograr los objetivos del proyecto de manera segura, dentro del cronograma, el presupuesto y los criterios de desempeño acordados (Radujković & Sjekavica, 2017).

2.3 Recursos

Un recurso es “cualquier cosa o persona que se utiliza para realizar una tarea o alcanzar un objetivo en un proyecto. Esto puede incluir recursos materiales como equipos, materiales y suministros, así como recursos humanos como los miembros del equipo, los consultores y los contratistas externos” (Gido & Clements, 2012).

Los recursos son “todos los elementos necesarios para la ejecución del proyecto, incluyendo recursos humanos, financieros y materiales. Los recursos humanos incluyen al equipo del proyecto y cualquier otro personal necesario para la realización del trabajo. Los recursos financieros incluyen los costos del proyecto, los presupuestos y los fondos necesarios para la realización del trabajo. Los recursos materiales incluyen los equipos, suministros y materiales necesarios para la realización del trabajo” (Project Management Institute, 2017).

2.4 Gestión de recursos en proyectos

La gestión de recursos en proyectos es “el proceso de identificar, adquirir y utilizar los recursos necesarios para lograr los objetivos del proyecto. Este proceso implica la planificación, seguimiento y control de los recursos del proyecto, incluyendo los recursos humanos, financieros y materiales” (Project Management Institute, 2017)

Implica “la identificación, adquisición y asignación de recursos, incluidos los recursos humanos, financieros y materiales, para lograr los objetivos del proyecto. La gestión de recursos también implica supervisar el uso de recursos para garantizar que se estén utilizando de manera efectiva y eficiente, y hacer ajustes cuando sea necesario para garantizar el éxito del proyecto” (Larson & Gray, 2014)

2.5 Inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) es “la ciencia e ingeniería de hacer máquinas inteligentes, especialmente aplicativos informáticos. Es relacionada con la tarea similar de usar los computadores para comprender la inteligencia humana, pero la IA no tiene que confinarse a métodos que sean biológicamente observables” (McCarthy, 2007). Se destaca la idea de que la IA busca crear máquinas inteligentes mediante la aplicación de la ciencia y la ingeniería, y que esta inteligencia no necesariamente tiene que ser idéntica a la humana. Además, McCarthy menciona que la IA puede ir más allá de lo biológicamente observable, lo que significa que puede incluir técnicas y enfoques que no se encuentran en la inteligencia humana.

“La IA es un conjunto de técnicas, métodos y algoritmos que permiten a los computadores realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, toma de decisiones y resolución de problemas” (Rusell & Norvig, 2010).

Una de las definiciones conocidas al respecto de la IA fue la aportada por Marvin Lee Minsky como “la ciencia de hacer que las máquinas hagan cosas que requerirían inteligencia si las hicieran los hombres” (Antebi, 2021).

3. Estado del arte

Para el establecimiento del estado del arte asociado a la caracterización de los elementos determinantes de la investigación, se utilizó el enfoque de revisión sistemática de la literatura, tomando como punto de partida las propuestas de: (Page, y otros, 2021); (Pérez, 2019); ((Kitchenham, 2004) citados en (Gil, 2022). Teniendo en cuenta la perspectiva anterior, se describen a continuación cuatro pasos, a saber: Criterios de selección; Fuentes de información; Estrategia de búsqueda y Proceso de selección y recopilación. A continuación, se detallan cada uno de los pasos:

3.1 Criterios de selección

Con el propósito de garantizar la calidad de los artículos, solo se consideraron en el proceso de revisión, aquellos que contemplaron los siguientes criterios:

- Artículos publicados en revistas arbitradas.
- Artículos publicados en inglés.
- Artículos enmarcados en las palabras clave.
- Artículos publicados entre 2019 y 2023 (ambos años inclusive).

Después de hacer la respectiva búsqueda en las fuentes de datos (bases de datos y Chatbot) y analizar los respectivos títulos, se eliminaron aquellos artículos en donde el tema principal era irrelevante o se encontraba fuera del alcance de la investigación. Luego de aplicar los anteriores criterios de selección, se empleó de manera secuencial, dos criterios adicionales para obtener solo aquellas fuentes de alta calidad, a saber:

- Criterios de inclusión basados en resúmenes. Este proceso permitió descartar artículos teniendo como fundamento, la información proporcionada en sus resúmenes

- Criterios de inclusión basados en la lectura completa del artículo. Este proceso permitió eliminar aquellos artículos que no correspondían al dominio de la investigación, a pesar de contemplar las palabras clave.

3.2 Fuentes de información

La búsqueda se realizó por medio de fuentes de datos de revistas científicas e información académica, de las cuales se tenía conocimiento previo. Los resultados obtenidos se recopilaron de manera manual, con el propósito de seleccionar las mejores fuentes de información, las cuales se describen en las Tablas 3-1 y 3-2.

Tabla 3-1: Aplicativos de conversaciones digitales (*Chatbot*) utilizados en la búsqueda.

Chatbot	**Tipo**	**URL**
ChatGPT3.5	Especializado en dialogo usando inteligencia artificial	https://openai.com

Fuente: Construcción propia

Tabla 3-2 Bases de datos utilizadas en la fase de búsqueda

Fuente de datos	**Tipo**	**URL**
Scopus	Librería digital	https://www.scopus.com/
ScienceDirect	Librería digital	https://www.sciencedirect.com/
Web of Science	Librería digital	https://clarivate.com/webofsciencegroup/solutions/web-of-science
IEEE Xplore	Librería digital	https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
Google Scholar	Librería digital	https://scholar.google.com.co/schhp?hl=es&as_sdt=0,5

Fuente: Construcción propia

Las fuentes de información descritas en las tablas anteriores permiten el uso de algoritmos de búsqueda, los cuales se pueden componer por operadores lógicos que son útiles en la extracción de los datos deseados.

3.3 Estrategia de búsqueda

En este paso se definieron los términos clave de búsqueda (también conocidos como descriptores), los cuales incluyen esencialmente, las palabras clave y extensiones, complementos o sinónimos de ellas. También se delimitó un procedimiento consistente para buscar la documentación científica en las fuentes de datos elegidas. Se inició seleccionando un conjunto de palabras clave asociadas con las preguntas de investigación, con lo cual se han conformaron tres grupos de palabras, los cuales se muestran en la Tabla 3-3. Cada grupo contiene expresiones consolidadas con sinónimos o términos con significados relacionados.

Tabla 3-3 Palabras clave empleadas en las consultas de búsqueda.

Grupos	Palabras clave
Grupo 1	Artificial Intelligence, AI, Machine Learning,
Grupo 2	Project Management, Project Planning, Project Execution
Grupo 3	Resource Management, Resource Allocation, Resource Planning.

Fuente: Construcción propia

El grupo 1 incluye términos asociados con la inteligencia artificial y el aprendizaje de máquina, mientras que el grupo 2 contiene un conjunto de términos relacionados con la gestión de proyectos y planeación de proyectos. Finalmente, el grupo 3 incluye términos asociados a la asignación de recursos, la administración y planeación de recursos. En las consultas de búsqueda se van a utilizar operadores lógicos para construir cadenas de búsqueda, los cuales son soportados por las fuentes de datos. La estructura general de las consultas de búsqueda que se propone aplicar a las fuentes de datos se muestra en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Algoritmos para las consultas de búsqueda en las bases de datos

Fuente de datos	Grupos	Algoritmos
Scopus, ScienceDirect, Web of Science, Google Scholar	1, 2, 3	TITLE-ABS-KEY (("Xx" OR " Xx" OR " Xx ") AND (" Xx" OR " Xx" OR " Xx") AND (" Xx" OR " Xx")) AND LIMIT-TO (PUBYEAR , 2023) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR

Fuente de datos	Grupos	Algoritmos
		, 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "english")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "PROJ") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j"))
IEEE Xplore	1, 2, 3	(("All Metadata":"Xx" OR "All Metadata":" Xx " OR "All Metadata":" Xx") AND ("All Metadata":" Xx" OR "All Metadata":" Xx" OR "All Metadata":" Xx" AND ("All Metadata":" Xx" OR "All Metadata":" Xx")) Filters Applied: Journals, Articles2019 - 2023

Fuente: Construcción propia

Se aclara que, para las consultas de búsqueda, se puede delimitar aún más las palabras, de acuerdo con el alcance especifico de la investigación. En el aplicativo de conversaciones digitales, se realizaron consultas a manera de preguntas, con el propósito de identificar artículos sobre la investigación.

3.4 Proceso de selección y recopilación

El proceso de búsqueda se realizó utilizando las palabras de los grupos que se encuentran en la Tabla 3-3, el cual permitió definir los algoritmos de búsqueda utilizados en las fuentes de datos. Este proceso se limitó al título, resumen y palabras clave en las fuentes de datos. En el proceso, se detectaron y excluyeron artículos que a pesar de que cumplían con los criterios de búsqueda no tenían relación directa con la investigación (cantidad de artículos etapa 2). En la Tabla 3-5 se detallan las cifras:

Tabla 3-5: Resultados de la búsqueda de artículos.

Fuente de datos	Cantidad inicial de artículos	Cantidad de artículos etapa 2
Scopus	26	4
ScienceDirect	21	0
Web of Science	0	0
IEEE Xplore	20	1
Google Scholar	8	4
ChatGPT3.5	6	4
Total	**81**	**9**

Fuente: Construcción propia

Es pertinente mencionar que los artículos que fueron consultados por medio de la herramienta aplicativos de conversaciones digitales (Chatbot) ChatGPT 3.5,

posteriormente fueron buscados por medio de Google Scholar para realizar el respectivo análisis, por lo cual están incluidos en el cálculo de artículos consultados en esta última herramienta.

En total se encontraron 81 artículos, de los cuales 9 se encuentran en la temática específica de la investigación. Estos artículos se exportaron y/o transformaron a formato de MS-Excel desde las bases de datos, donde se llevó a cabo un análisis más detallado con un filtro inicial por título, además de la revisión si había artículos duplicados. Luego se realizó un filtro donde se incluyó una lectura del resumen para tener una idea mucho más clara y concreta de la finalidad del artículo, para llegar así a los artículos a los cuales se les realizaría una lectura completa.

Los anteriores cuatro pasos de esta etapa ofrecieron ciertas ventajas como, por ejemplo: aceleró la búsqueda en el dominio del conocimiento específico, que se contempló en la literatura disponible y limitada. Lo anterior permitió una rápida identificación de autores reconocidos y centros de investigación. También permitió identificar rápidamente tecnologías o grupos de tecnologías emergentes utilizadas para realizar un análisis más detallado. Sin embargo, puede tener debilidades en la evaluación de la calidad de los artículos, ya que no se realizó un análisis riguroso, sino que solo se basó en la confiabilidad de las fuentes de datos. Otra debilidad puede ser la estrategia de búsqueda en la que las palabras clave pueden tener algún sesgo debido a los intereses de búsqueda particulares que se consideran.

Adicionalmente, se procedió a realizar una segunda exploración exhaustiva (Tabla 3-6) de la literatura académica con el fin de profundizar en el conocimiento relacionado con la gestión de recursos en el contexto de proyectos. Esta etapa de investigación se centró específicamente en el análisis de la gestión de presupuestos y costos en proyectos. El procedimiento empleado en esta fase fue similar al descrito anteriormente, garantizando así la coherencia metodológica en el abordaje de la temática.

Tabla 3-6: Palabras clave empleadas en la segunda consulta de búsqueda.

Grupos	Palabras clave
Grupo 4	Budget, Budget planification, Budget control
Grupo 5	Artificial Intelligence, AI, Machine Learning.
Grupo 6	Project, Project management, Project decision.

Fuente: Construcción propia

La clasificación de términos utilizada en esta investigación comprende tres grupos principales. En primer lugar, el Grupo 4 se enfoca en términos asociados a la planificación y el control de presupuestos, aspectos cruciales en la gestión eficiente de proyectos. El Grupo 5, por su parte, abarca un conjunto de términos relacionados con la inteligencia artificial y el aprendizaje de máquinas, áreas de conocimiento cada vez más relevantes en el contexto actual. Finalmente, el Grupo 6 engloba términos vinculados a la gestión de proyectos y la toma de decisiones en el ámbito de proyectos, lo que incluye estrategias, metodologías y mejores prácticas para garantizar el éxito en la ejecución de proyectos.

Para llevar a cabo la búsqueda de información pertinente, se emplearon ecuaciones de búsqueda detalladas, cuyos criterios se describen en la Tabla 3-4 presentada anteriormente. No obstante, es importante destacar que las fuentes primarias de artículos consultados fueron Scopus y Science Direct, dos plataformas reconocidas por su amplia cobertura de la literatura académica y científica.

En la primera fase de la segunda búsqueda, se identificó un total de 80 artículos en Scopus y 15 artículos en Science Direct. Sin embargo, con el objetivo de centrarse en las fuentes más relevantes y accesibles, se procedió a un análisis inicial de títulos y resúmenes de cada artículo, lo que resultó en una preselección de 40 artículos en Scopus y 5 en Science Direct que estaban disponibles.

Posteriormente, se realizó una revisión exhaustiva de estos artículos preseleccionados, con el fin de identificar aquellos que aportaban información directamente relacionada con el tema descrito anteriormente. Este proceso de revisión minuciosa culminó en la

identificación de 5 artículos en Scopus que, por su contenido y relevancia, se consideraron pertinentes en el desarrollo de este trabajo, como se puede ver en la Tabla 3-7:

Tabla 3-7: Resultados de la segunda búsqueda de artículos.

Fuente de datos	Cantidad inicial de artículos	Cantidad de artículos etapa 2
Scopus	80	5
ScienceDirect	15	0

Fuente: Construcción propia

3.5 Resultados encontrados

La gestión de proyectos (Project Management) es una disciplina de gran importancia en el mundo de las organizaciones. Esto se debe a que les permite por medio de la planificación de objetivos alcanzables y el establecimiento de planes detallados trazar una vía para el logro de estos. Todo esto por medio de una correcta asignación y óptimo uso de diversos recursos de carácter limitado, asegurando de esta forma su disponibilidad, calidad y uso adecuado para los fines establecidos, y, además, constituyendo de esta forma una fuente generadora de valor para la organización promoviendo desarrollo, exploración, crecimiento y mitigación o prevención de riesgos a la vez que adaptación a los retos.

Es importante resaltar que el término “gestión de proyectos” hace alusión directa al proceso de planear, organizar, supervisar y controlar la combinación de recursos humanos, físicos, financieros e intangibles. Además de una forma que permita a las organizaciones por medio de una integración acertada, seguimiento de directrices, compromiso, sinergia de equipos de trabajo, y liderazgo al desarrollar proyectos importantes de gran impacto tanto para la propia organización como para las demás partes interesadas. Lo anterior permite lograr de esta forma, resultados de nivel económico, ambiental, social según el enfoque de los proyectos a efectuar.

Si bien se menciona al inicio, esta disciplina no es nueva. Sin embargo, con el avance en el tiempo ha logrado una amplia exploración y un creciente desarrollo, por lo cual hoy en día, cuenta con múltiples herramientas y técnicas cuyo principal fin es brindar apoyo y

aportes valiosos. Lo anterior permite a los gestores de proyectos, por medio de la óptima gestión de recursos limitados, obtener los mejores resultados, teniendo en cuenta que el contexto de los proyectos suele ser cambiante. Por lo cual, la incertidumbre, capacidad de adaptación a los desafíos, resiliencia y enfoque en la solución de problemas se convierten en factores de vital importancia para la planificación y ejecución de proyectos.

Al analizar la gestión de recursos como punto clave, es importante dar a conocer que investigaciones realizadas han demostrado que este proceso que engloba las fases mencionadas anteriormente permite liberar el potencial máximo de los recursos necesarios para el desarrollo. A la vez, mejorar la rentabilidad empresarial y responder de manera estratégica y eficiente frente a la volatilidad que plantea el mercado.

En este sentido, otras de las ventajas que ofrece la gestión de recursos se encuentran directamente enlazadas con la capacidad de evitar contratiempos o imprevistos que se puedan presentar por medio de la prevención oportuna y la gestión de riesgos, disminución de la sobreasignación o subasignación de recursos. Lo anterior generaría un desequilibrio en el sistema y conllevaría a carencias o sobrantes que pudieron emplearse de mejor manera, incrementos en la transparencia y eficiencia al reconocer las capacidades con las que se cuenta y cómo gestionarlas para generar valor y lograr metas. (Qureshi, 2022)

Algunos de los trabajos encontrados se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 3-8: Resultados encontrados en los trabajos publicados.

Revista y/o evento	Título	Autores	Palabras clave	Síntesis	Aportes	Brechas y debilidades
Asian Journal of Business and Management	Effective Resource Budgeting as a Tool for Project Manageme nt	(Okon Ndem Eyibio, 2020)	Presupuesto de recursos Presupuesto Gestión de recursos Herramientas, Gestión de proyectos	El artículo se enfoca en la importancia de una adecuada gestión de presupuesto de recursos para el éxito de los proyectos y proporciona un marco teórico y práctico para la gestión efectiva de los recursos en los proyectos.	Perspectiva detallada de cómo una adecuada gestión de presupuesto de recursos puede contribuir al éxito de los proyectos. La riqueza de la organización está determinada por su capacidad para administrar los recursos y cumplir las expectativas de los clientes	No existen referentes al respecto, es un campo poco estudiado. El estudio no se puede generalizar a otras regiones de Nigeria.

Fuente: Construcción propia

De acuerdo con lo mencionado, es importante reconocer que, si bien la gestión de proyectos es una disciplina ejercida por el ser humano, gracias a los avances que presenta la tecnología, hoy en día existen múltiples herramientas funcionales que pueden ayudar a que sea una labor más eficiente y con posibilidades de mayor precisión y mitigación de errores humanos y/o sesgos por medio de la automatización y la incorporación de desarrollos como la IA, analítica de datos, automatización, entre otros.

Siguiendo la misma línea, en este trabajo se analiza la relación existente entre la IA y la gestión de proyectos, partiendo inicialmente en cómo la primera es un punto de apoyo fuerte para las organizaciones. Se toma como eje, el impacto que se genera al implementar este campo de conocimiento en la toma de decisiones empresariales. Se tiene en consideración que, si bien el ámbito de la IA no es nuevo, su implementación en las empresas y específicamente en la gestión de proyectos es un terreno que se encuentra en exploración y con avances crecientes dados algunos de los beneficios que esto representa. No obstante, los desafíos presentes para lograr integrar la IA como una parte generadora de valor en las organizaciones son de gran envergadura por lo cual, son procesos que deben realizarse de forma planeada, con apertura al cambio y aprendizaje, y en forma escalable para realizar una transición efectiva y eficaz.

Al entrar en profundidad sobre cómo la IA ayuda a la gestión de proyectos en las organizaciones, se encontró que la IA logra administrar diversos proyectos garantizando un bajo consumo de recursos. Adicionalmente también es de gran utilidad en la toma de decisiones en los proyectos, dado que permite en el caso de los equipos de trabajo, reconocer las competencias y conocimientos de cada miembro para sacar el máximo provecho en la ejecución. En este sentido, se destaca que uno de los aportes más valiosos de la IA a la gestión de proyectos es que gracias al uso de máquinas, se logra disminuir el peso que recae sobre el gestor de proyectos. Además de que gracias a su implementación se obtienen resultados más certeros en las estimaciones de presupuesto, con mayor precisión, otorgando así a los gestores de proyectos información valiosa y oportuna para la elaboración de estrategias y la toma de decisiones.

Tabla 3-9: Resultados encontrados en los trabajos publicados.

Revista y/o evento	Título	Autores	Palabras clave	Síntesis	Aportes	Brechas y debilidades
Mobile Information Systems	A Resource Scheduling Method for Enterprise Management Based on Artificial Intelligence Deep Learning	(L & Huang, 2022)	Competencia, aprendizaje profundo, algoritmos heurísticos, optimización por enjambre de partículas (PSO), asignación de recursos programación, gestión de residuos.	Propone un método de programación de recursos para la gestión empresarial utilizando técnicas de inteligencia artificial y Deep Learning. La metodología se basa en la combinación de redes neuronales para el análisis y la predicción de la demanda de recursos. Los autores validaron la eficacia del modelo mediante experimentos en una empresa real de fabricación de automóviles.	Enfoque para la gestión de recursos empresariales. Proporciona una plataforma para la programación de recursos que puede recopilar, transmitir, procesar y analizar la información de recursos de cada proyecto dentro de la organización.	Este trabajo está todavía en sus inicios, y todavía hay muchos aspectos que mejorar.
International Journal of Construction Management	Data mining for forecasting labor resource requirements: a case study of project management staffing requirements	(Elkholosy, Ead, Hammad, & AbouRizk, 2022)	Minería de datos, previsión, aprendizaje automático, asignación de recursos.	Presenta un estudio de caso que aplicó técnicas de minería de datos para predecir los requerimientos de recursos laborales en proyectos de construcción.	Los resultados muestran que la técnica de minería de datos puede ser útil para predecir la demanda de mano de obra en diferentes etapas del proyecto, lo que puede ayudar a los gerentes de proyecto a tomar decisiones más informadas y estratégicas para optimizar la asignación de recursos y mejorar la eficiencia del proyecto.	Los algoritmos de aprendizaje automático funcionan mejor en conjuntos de datos más grandes.
Construction Innovation	Machine learning for the identification of competent project managers for construction projects in Nepal	(Karki & Hadikusumo, 2021)	Competencia, jefes de proyecto, Inteligencia Artificial, aprendizaje automático, competencia del gerente de proyecto, Entorno WEKA, optimización mínima secuencial, Nepal	Identifica las características de los gerentes de proyecto competentes mediante el método de opinión de expertos y evalúa su nivel de competencia mediante una encuesta de cuestionario para desarrollar un modelo de predicción utilizando un enfoque de aprendizaje automático supervisado a través de Waikato Environment for Knowledge Analysis (WEKA), una herramienta de aprendizaje automático que predice el rendimiento del gerente de proyecto.	El modelo predictivo desarrollado en el estudio ayuda en la identificación de un gerente de proyecto competente, el cual será útil para la finalización del proyecto con una alta tasa de éxito.	Esta investigación se limita a los proyectos de construcción a mediana escala de Nepal.
Automation in Construction	Intelligent data-driven approach for enhancing preliminary resource planning in industrial construction	(Wu, Ji, Feng, & Hermann, 2021)	Planificación de proyectos, modelado de información de construcción (BIM), toma de decisiones basada en datos, aprendizaje automático, construcción modular.	Propone un enfoque basado en datos para mejorar la planificación preliminar de recursos en la construcción industrial. La metodología se basa en la recopilación y análisis de datos históricos de proyectos de construcción industrial para desarrollar modelos de aprendizaje automático que pueden predecir con precisión los requisitos de recursos en diferentes etapas del proyecto.	El artículo destaca la importancia de utilizar enfoques basados en datos y aprendizaje automático para mejorar la planificación de recursos en la construcción industrial. Propone una metodología para desarrollar modelos precisos de predicción de recursos y muestra cómo se pueden utilizar para mejorar la eficiencia y reducir los costos.	
American Journal of Industrial and	Effects of Artificial Intelligence on Decision	(El Khatib & Al Falasi, 2021)	Sistema de Información de Gestión de Proyectos,	La Inteligencia Artificial, se convierte en una ficha clave en lo concerniente a gestión del conocimiento en la	La gestión de proyectos es una actividad compleja debido a la	Una limitación que mencionan los autores en la investigación es

Revista y/o evento	Título	Autores	Palabras clave	Síntesis	Aportes	Brechas y debilidades
Business Management	Making in Project Management		Inteligencia Artificial, Toma de Decisiones, Calidad de Datos, Integridad de Datos	gestión de proyectos, pues permite al gestor de proyectos contar con información valiosa, organizada y transparente que le indica las modificaciones de nivel presupuestal, factores de éxito del proyecto, factores de riesgo, lecciones aprendidas de proyectos similares que se han realizado.	incertidumbre del contexto en el que se desarrolla. He ahí la importancia de la implementación de la Inteligencia Artificial en la gestión de proyectos, dado que esta permite a los gestores de proyectos una toma de decisiones más acertada al entregar información clara y precisa y datos integrados de calidad parapromover y aportar a la generación de valor	que no había un número suficiente de trabajos de investigación en la región sobre el impacto de la inteligencia artificial en los sistemas de información de gestión de proyectos.
International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS)	Machine Learning Technology as a Solution of the Resource Assignment Spread Issue in Research and Development Projects	(Vasiliev, Mayborodin, & Kramarenko, 2020)	Tecnologías digitales, recursos empresariales, aprendizaje automático, producción sin hilos, programación de proyectos, calidad, función de regresión, proyecto de investigación y desarrollo	Presenta un estudio sobre cómo la tecnología de aprendizaje automático puede ayudar a resolver el problema de asignación de recursos en proyectos de investigación y desarrollo (I+D) en los que hay una gran cantidad de requisitos, restricciones y limitaciones que dificultan la planificación y ejecución del proyecto.	Propone un enfoque para la asignación de recursos en proyectos de I+D mediante el uso de técnicas de machine Learning, se evalúa su rendimiento mediante simulaciones, lo que puede mejorar la eficiencia y la calidad de la planificación del proyecto.	El estudio no desarrolla a profundidad el uso de la red neuronal artificial en el contexto de la investigación.
Instituto Universitario de Lisboa	How Artificial Intelligence Can Provide Support in Project Resource Management	(Silva Nobre, 2020)	Inteligencia artificial Gestión Gestión de proyectos Recurso del proyecto Gestión de la Utilidad de la IA;	Explora cómo la Inteligencia Artificial (IA) puede proporcionar apoyo en la gestión de recursos en proyectos. Se argumenta que la IA puede mejorar la eficiencia y eficacia en la asignación de recursos, así como en la toma de decisiones en la gestión de riesgos y en la gestión del desempeño del equipo de proyecto. **Beneficios de implementar IA en gestión de recursos en proyectos** *Mejora de la precisión y la eficiencia en la asignación de recursos *La reducción de los costos de los proyectos *El aumento de la productividad	Identifica los desafíos comunes en la gestión de recursos de proyectos, como la falta de información precisa y actualizada sobre los recursos disponibles y su capacidad, así como la falta de visibilidad sobre el progreso del proyecto y la asignación de recursos. Luego, explora cómo la inteligencia artificial puede abordar estos desafíos mediante el uso de algoritmos de aprendizaje automático y análisis de datos para optimizar la asignación y programación de recursos.	Pocos estudios previos de la disposición de los equipos de proyectos para implementar la IA en la gestión de proyectos, lo cual se convirtió en una barrera para la investigación.
Global Journal of Management and Business Research: A Administration and Management	How Artificial Intelligence Can Help Project Manager	(Munir, 2019)	Gestores de proyectos Inteligencia Artificial Ecosistema Foster.	Explora cómo la inteligencia artificial puede mejorar la gestión de proyectos. Comienza definiendo la inteligencia artificial y sus aplicaciones en la gestión de proyectos, y luego destaca cómo puede ayudar en diferentes aspectos, como la planificación, asignación de recursos, gestión de riesgos y toma de decisiones. También menciona algunos casos de uso de la inteligencia artificial en la gestión de proyectos en la industria.	El uso de IA en las organizaciones ha permitido mejoras significativas en las actividades, como en el proceso de contratación de recursos humanos, lo que ha incrementado el rendimiento y reducido la rotación de colaboradores. También ha permitido a los gestores de proyectos conocer el nivel de productividad y asignar tareas de manera más eficiente basándose en las habilidades y	No se analizan limitaciones o desafíos para implementarla.

Revista y/o evento	Título	Autores	Palabras clave	Síntesis	Aportes	Brechas y debilidades
					conocimientos de los colaboradores.	

Fuente: Construcción propia

Tras completar la segunda fase de búsqueda, que involucró una revisión sistemática de la literatura, se logró identificar y seleccionar trabajos que relacionan de cierta forma la gestión de presupuestos en proyectos y técnicas de inteligencia artificial. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en esta fase, los cuales permiten reconocer el vínculo existente y proporcionan una base para el desarrollo del trabajo:

Tabla 3-10: Resultados encontrados en los trabajos publicados.

Revista y/o evento	Título	Autores	Palabras clave	Síntesis	Aportes
Computers & Industrial Engineering 180	Explainable machine learning for project management control	(Santos, Pereda, Ahedo, & Galán, 2023)	Gestión de proyectos. Valores de Shapley. Control estocástico de proyectos. Gestión del valor ganado. Aprendizaje automático explicable Shapley	Se ha creado una metodología basada en el método EVM y conceptos como EV, PV y AC para gestionar proyectos inciertos. Permite analizar el proyecto hacia adelante y hacia atrás mediante simulaciones y aprendizaje automático, como SHAP, para comprender su duración y probabilidad de finalización. Esto facilita la toma de decisiones y el control del proyecto	El objetivo de la investigación es mejorar el Análisis del Valor Ganado (EVM) considerando la incertidumbre en la duración y costos de tareas mediante distribuciones de probabilidad. A diferencia de investigaciones previas, el enfoque incorpora explicabilidad en modelos, proporcionando explicaciones detalladas a nivel de tarea y métricas de sensibilidad para una mejor gestión de proyectos. Esta investigación representa un avance al integrar la Explicabilidad en la Inteligencia Artificial (XAI) en el control de proyectos de manera integral.
Buildings 2022	Cost Overrun Risk Assessment and Prediction in Construction Projects: A Bayesian Network Classifier Approach	(Amin Ashtari, Ansari, Hassannayebi, & Jeong, 2022)	Sobrecosto. Evaluación de riesgos. Aprendizaje automático. Clasificador de redes bayesianas. Bayes ingenuo Árbol de decisión.	El estudio tiene como objetivo pronosticar sobrecostos y evaluar los riesgos asociados en proyectos de construcción a través de un clasificador de redes bayesianas.	El modelo propuesto es capaz de considerar interrelaciones entre os predictores que son riesgos de sobrecostos * Uso del modelo clasificador NB para predecir sobrecostos y evaluar los riesgos de sobrecostos por primera vez en la gestión de la construcción. * Evaluar el efecto de considerar posibles relaciones entre los riesgos de sobrecostos en la precisión predictiva de los sobrecostos en proyectos de construcción en modelos de ML. NB aprendido.

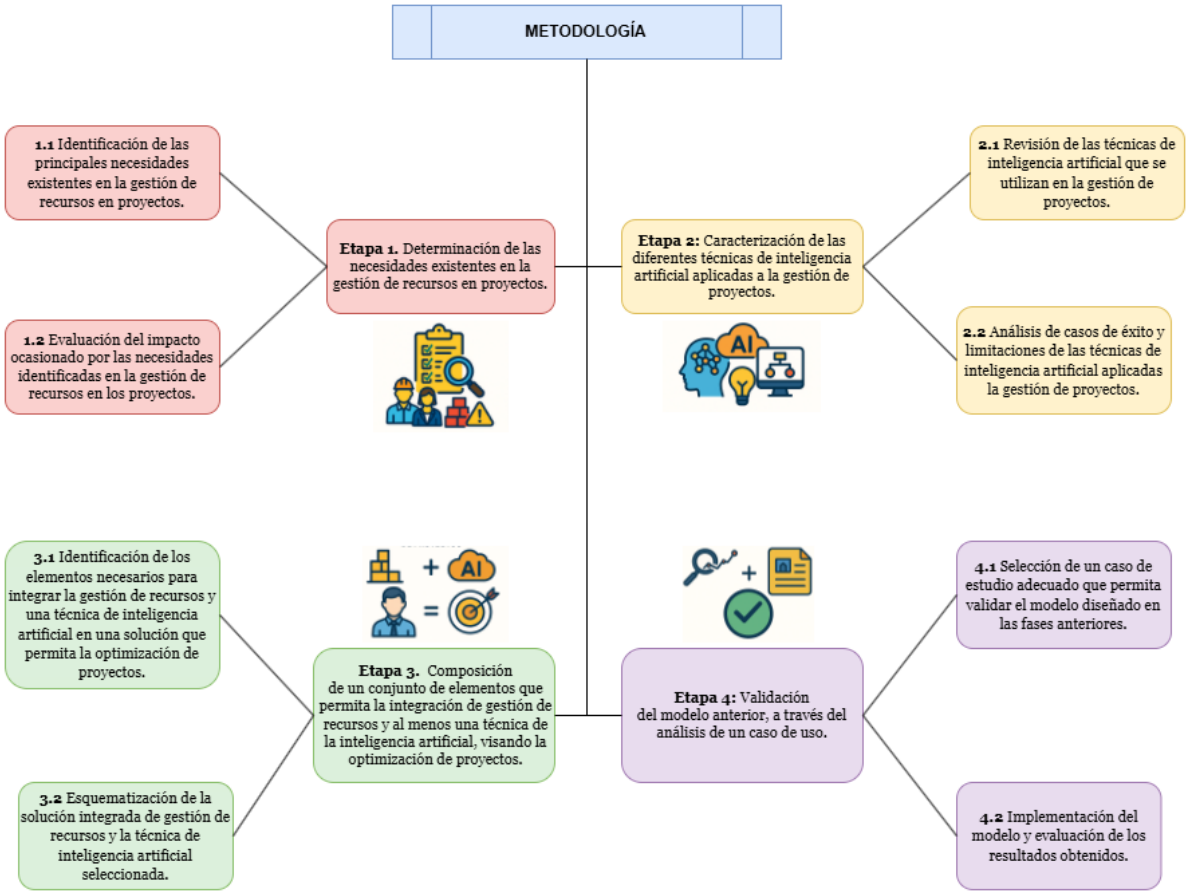
Revista y/o evento	Título	Autores	Palabras clave	Síntesis	Aportes
Journal of Advances in Information Technology Vol. 13, No. 1	Government Construction Project Budget Prediction Using Machine Learning	(Kusonkhum, Srinavin, Leungbootnak, & Aksor)	Proyecto de construcción gubernamental. Tecnología de big data. Aprendizaje automático. k-vecinos más cercanos. Proyecto con exceso de presupuesto.	Predecir proyectos de construcción que exceden el presupuesto utilizando un algoritmo ML. Se recopilaron datos del departamento de la Contraloría General de Tailandia para casos de proyectos con exceso de presupuesto. Se recopiló y analizó información sobre 692 proyectos completados en Tailandia en 2019, que abarcan todo tipo de proyectos de construcción.	Se utilizó el k-neighborhoods KNN, el cual es un algoritmo de aprendizaje automático para la clasificación de proyectos que superan el presupuesto. Los datos de entrada constan de lo siguiente: departamento del proyecto, ubicación del sitio de construcción, tipo de proyecto y métodos de adquisición; el resultado es una decisión de sí o no sobre si un proyecto ha excedido el presupuesto. Según los resultados de la prueba, el modelo KNN logra una exactitud (precisión) de 0,86.
International Journal for Computational Civil and Structural Engineering,	Forecasting And Determining Of Cost Performance Index Of Tunnels Projects Using Artificial Neural Networks	(Hammoody, Al-Somaydaii, Al-Zwainy, & Hayder, 2022)	Previsión Redes neuronales. artificiales Proyecto de túnel. Índice de desempeño de costos.	Aborda la falta de documentación adecuada en los proyectos de construcción de túneles en el mundo árabe, lo que dificulta la estimación de presupuestos y costos. Se destaca la necesidad urgente de utilizar la Inteligencia Artificial (IA) para estimar los indicadores de valor ganado en estos proyectos, dado la falta de datos necesarios para estimar costos y duraciones. El estudio se llevó a cabo utilizando datos históricos de proyectos en Irak y Jordania, y se utilizó una red neuronal artificial (ANN) para desarrollar un modelo de gestión del valor ganado	Este estudio destaca la importancia del Valor Ganado como una herramienta efectiva para evaluar proyectos de túneles, especialmente en regiones con deficiencias en información histórica, como Irak y Jordania. Se desarrolló una metodología que utiliza datos históricos y selecciona cuidadosamente variables clave. Se empleó una Red Neuronal Artificial (RNA) con un algoritmo de retropropagación para modelar y estimar el Valor Ganado, logrando una alta precisión del 90,368% y un error promedio del 9,6%. Estos resultados respaldan la recomendación de adoptar redes neuronales artificiales como un método valioso y preciso en la gestión de costos y planificación en proyectos de construcción en general y de túneles en particular.
Journal of Building Engineering 39 (2021) 102288	Neural network-based interval forecasting of construction material prices	(Mir, Dipu Kabir, Nasirzadeh, & Khosravi, 2021)	Material de construcción. Predicción del precio de los materiales. Incertidumbres. Método de intervalo de predicción de red neuronal.	Esta investigación propone un método basado en redes neuronales artificiales (RNA) para cuantificar las incertidumbres mediante la generación de intervalos de pronóstico.	Teniendo en cuenta los factores: Departamento del proyecto, ubicación del sitio de construcción, tipo de proyecto y métodos de adquisición, el resultado final del método es una decisión de si o no sobre si un proyecto ha excedido el presupuesto. Finalmente el modelo desarrollado KNN logró una exactitud precisión de 0,86, demostrando que puede usarse para predecir proyectos de construcción que exceden el presupuesto del gobierno tailandés.

Fuente: Construcción propia

4.Metodología

Para la consecución del objetivo general del trabajo, se han planteado cuatro etapas, a saber:

Figura 4-1: Metodología de desarrollo del proyecto



Fuente: Construcción propia

4.1 Determinación de las necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos

Para lograr esta primera etapa, se proponen el siguiente conjunto de actividades, a saber:

- Actividad 1. Identificación de las principales necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos.

- Actividad 2. Evaluación del impacto ocasionado por las necesidades identificadas en la gestión de recursos en los proyectos.

4.2 Caracterización de las diferentes técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos

Para lograr la segunda etapa, se proponen el siguiente conjunto de actividades, a saber:

- Actividad 1. Revisión de las técnicas de inteligencia artificial que se utilizan en la gestión de proyectos.

- Actividad 2. Análisis de casos de éxito y limitaciones de las técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos.

4.3 Composición de un conjunto de elementos que permita la integración de gestión de recursos y al menos una técnica de la inteligencia artificial, visando la optimización de proyectos

Para lograr la tercera etapa, se proponen el siguiente conjunto de actividades, a saber:

- Actividad 1. Identificación de los elementos necesarios para integrar la gestión de recursos y una técnica de inteligencia artificial en una solución que permita la optimización de proyectos.

- Actividad 2. Esquematización de la solución integrada de gestión de recursos y la técnica de inteligencia artificial seleccionada.

4.4 Validación del modelo anterior, a través del análisis de un caso de uso

Para lograr la última etapa, se proponen el siguiente conjunto de actividades, a saber:

- Actividad 1. Selección de un caso de estudio adecuado que permita validar el modelo diseñado en las fases anteriores

- Actividad 2. Implementación del modelo y evaluación de los resultados obtenidos.

5. Desarrollo de la metodología

A continuación se presenta el desarrollo de la metodología planteada en este trabajo.

5.1 Etapa 1: Determinación de las necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos

El desarrollo de la primera etapa consta de las siguientes actividades que se muestran a continuación.

5.1.1 Actividad 1. Identificación de las principales necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos

En esta sección, se identifican las principales necesidades en la gestión de recursos en proyectos. Se analizan los aspectos críticos que influyen en la planificación, asignación, disponibilidad y control de los recursos, con el fin de comprender los desafíos y establecer áreas clave de intervención con el fin de lograr una gestión más eficiente.

A continuación en la figura 5-1 se presenta la síntesis de esta primera actividad.

Figura 5-1: Síntesis de la Identificación de las principales necesidades existentes en la gestión de recursos en proyectos

Fuente: Construcción propia

- **Identificación de recursos:**

La gestión de proyectos es una actividad estratégica en las organizaciones, su éxito depende, en gran medida, de una adecuada planeación de los recursos. En este sentido, uno de los primeros pasos esenciales para garantizar el cumplimiento de los objetivos es la correcta identificación de todos los recursos que se requerirán durante la fase de ejecución del proyecto.

Esta identificación permite contar con una estimación previa útil para que los gestores del proyecto y los miembros del equipo reconozcan qué tipo de recursos serán necesarios para el desarrollo exitoso del proyecto.

Para ello, es fundamental clasificar los recursos en distintas categorías, analizarlos de manera integral y tomar decisiones informadas que permitan definir con claridad aspectos como:

Recursos financieros están directamente relacionados con el capital disponible para ejecutar el proyecto, incluyendo tanto los aportes de la empresa como de aliados estratégicos. Al ser de carácter limitado, la formulación de los recursos que requiere el proyecto es una labor que debe ser realizada cuidadosamente y al detalle, de modo que los recursos totales del proyecto puedan cubrir adecuadamente la ejecución del mismo, sin llegar a tener sobrecostos que puedan traer inconvenientes en el alcance de los objetivos.

Los recursos deben ser distribuidos y asignados a los diferentes componentes del proyecto, permitiendo así la adquisición de materiales, insumos, equipos, infraestructura, herramientas tecnológicas, así como la contratación del talento humano, entrega de incentivos y demás necesidades operativas.

Para garantizar una gestión financiera eficiente, es fundamental que en la formulación se elabore un presupuesto detallado, contemplando los montos asignados a cada rubro, las obligaciones que deben cumplirse, y la reserva de un porcentaje del capital para atender imprevistos. Esto incluye fluctuaciones en los precios, escasez de insumos, o ajustes necesarios que demanden mayor inversión durante la ejecución. Una adecuada

planificación financiera permite al proyecto mantener su continuidad y alcanzar sus objetivos dentro de los márgenes económicos establecidos.

Recurso humano compuesto por las personas que integran el equipo del proyecto, quienes aportan sus habilidades, conocimientos, aptitudes, ideas y experiencia, para el desarrollo optimo del proyecto. Por ello, el gestor debe identificar cuántas personas se requieren, así como los perfiles y competencias necesarias para conformar un equipo capaz de adaptarse, enfrentar desafíos y hacer seguimiento a los resultados.

La gestión del recurso humano incluye la planificación, dirección y organización del equipo, considerando su participación total o parcial en distintas fases del proyecto. Además, abarca el desarrollo de capacidades, la resolución de conflictos, un buen clima laboral y un liderazgo efectivo que impulse el cumplimiento de metas en el tiempo establecido.

Recursos materiales comprenden insumos, herramientas, maquinaria, equipos e infraestructura para la ejecución del proyecto.

Durante la fase de formulación, el equipo debe evaluar los materiales requeridos, ya sea por adquisición o alquiler según corresponda. Para ello, es fundamental realizar una estimación presupuestal basada en cotizaciones actuales con proveedores, planificación de pagos y entregas, así como considerar variables económicas que afectan la evolución de los costos en el tiempo, como el Índice de Precios al Consumidor (IPC), este último permite proyectar adecuadamente los valores futuros de los bienes y servicios, propiciando que el presupuesto formulado mantenga su poder adquisitivo durante la ejecución del proyecto, especialmente en aquellos que se desarrollarán en vigencias futuras.

Recursos tecnológicos aliados estratégicos en la gestión de proyectos, permiten optimizar y automatizar procesos, mejorando la eficiencia. Entre los recursos tecnológicos, se incluyen elementos tangibles como computadores, tabletas, impresoras, maquinaria especializada, e intangibles como software, bases de datos, sistemas de información y servicios en la nube.

Una adecuada identificación de estos recursos desde la fase de formulación permite garantizar que durante la ejecución los procesos de adquisición y puesta en marcha sean más ágiles. Asimismo, permite anticiparse a posibles dificultades técnicas, asegurar la

compatibilidad entre herramientas, y establecer los requerimientos necesarios para su implementación, mantenimiento y actualización, asegurando así el correcto funcionamiento de las actividades planificadas y contribuyendo al logro de los objetivos del proyecto.

- **Disponibilidad de los recursos**

En el contexto de los proyectos, la disponibilidad de los recursos se convierte en un factor crítico que impacta en la planeación, ejecución y el cumplimiento de los objetivos establecidos. No basta con identificar los recursos que se requieren, es vital asegurar que los recursos que se formulan están disponibles para ser empleados en las fases requeridas del proyecto.

Esta necesidad abarca tanto los recursos humanos, materiales, tecnológicos y financieros, mencionados anteriormente como su accesibilidad oportuna. En este sentido, la no disponibilidad puede generar retrasos, sobrecostos o incluso la paralización de actividades clave. Por ejemplo, la ausencia de personal calificado en momentos específicos, la demora en la entrega de insumos o maquinaria, o la no disponibilidad inmediata del presupuesto asignado, pueden afectar gravemente el desarrollo del proyecto.

De acuerdo con lo anterior, una adecuada gestión de la disponibilidad implica establecer mecanismos de seguimiento y anticipación, esto incluye cronogramas de adquisición, búsqueda y vinculación con proveedores, seguimientos al presupuesto total del proyecto garantizando de esta forma la ejecución de forma óptima y sin inconvenientes.

- **Obtención de recursos**

Tras la identificación de los recursos necesarios para el proyecto, es indispensable evaluar si la organización dispone de ellos o si deben ser adquiridos durante la ejecución. Para esto, en el caso de los bienes tangibles y servicios se hace fundamental realizar un plan de adquisiciones, validando si lo requerido se puede adquirir por medio de procesos de compra o alquiler. Esta decisión permite proyectar financieramente los costos asociados, considerando variables económicas actuales y futuras que permitan garantizar la obtención de los recursos en el momento oportuno.

Para la contratación de personal, se deben definir perfiles idóneos alineados con las necesidades del proyecto, estimar los costos asociados y contemplar posibles incrementos anuales en la nómina de acuerdo con las regulaciones en materia del trabajo y de la organización en sí misma.

- **Gestión de riesgos**

Los proyectos están inmersos en un ecosistema de riesgos, donde la mayor parte del tiempo se debe ejercer control y monitoreo constante de las condiciones internas y externas que podrían afectar el normal desarrollo de los mismos.

De acuerdo con lo anterior, en cada una de las fases de la gestión de recursos resulta fundamental anticipar los riesgos inherentes al proceso. Esto parte desde la presupuestación global del capital destinado al proyecto, la distribución y asignación de los recursos a cada rubro, la adecuada identificación de los recursos necesarios para la ejecución, la disponibilidad real de dichos recursos y la planificación para la adquisición de aquellos con los que la organización.

A continuación, se detallan los principales riesgos asociados.

Tabla 5-1 Riesgos de la identificación de necesidades de recursos en proyectos

Factor de Riesgo	Consecuencia Directa	Impacto en el Proyecto
Falta de precisión en la formulación de costos	Escasez de recursos financieros	Impacto negativo en la ejecución de actividades, comprometiendo objetivos.
Falta de previsión de margen de contingencia	Dificultad para responder a imprevistos, escasez de recursos.	Impacto negativo en la ejecución de actividades, comprometiendo objetivos.
Omisión de recursos durante la formulación	Desbalances en la ejecución, retrasos, incrementos de costos por imprevistos no previstos.	Obliga a redistribuir recursos, comprometiendo metas y la eficiencia general.
Falta de control periódico del avance presupuestal	Falta de visibilidad sobre la ejecución, recursos comprometidos y pendientes.	Sobreasignación de recursos (excediendo el presupuesto) o subejecución (impidiendo alcanzar objetivos).

Fuente: Construcción propia.

De acuerdo con lo anterior, es fundamental tener en cuenta que existen ciertas condiciones económicas, sociales, tecnológicas y ambientales, tanto a nivel local, regional, nacional e incluso a escala mundial, que plantean desafíos significativos en la adquisición de materias primas, insumos, equipos e infraestructura. Estos factores pueden dar lugar a una serie de inconvenientes que ponen en riesgo el desarrollo fluido y exitoso del proyecto. A continuación se exploran a mayor profundidad algunas de ellas:

Tabla 5-2: Condiciones que factores de riesgo en la gestión de recursos en proyectos

Condiciones	Posibles Causas	Consecuencia Directa	Impacto en el Proyecto
Económicas	Oferta y demanda global, volatilidad en los mercados financieros, políticas comerciales, guerras que afectan la disponibilidad de insumos, crisis de contenedores.	Aumentos inesperados en los costos de adquisición, que superan el presupuesto formulado en un principio.	Impacto negativo en costos, incertidumbre y dificultad en la planeación a largo plazo.
Sociales	Los conflictos laborales, las huelgas y otras situaciones similares.	Interrupción en la producción de materias primas, insumos y equipos.	Restricción de la disponibilidad de recursos, necesidad de respuesta rápida en el abastecimiento para cumplir metas.
Tecnológicas	Dependencia de tecnologías específicas y adopción de tecnología que permite optimizar procesos.	Altos costos, problemas en la cadena de suministro de componentes clave, fallas en sistemas informáticos.	Dificultades en los proyectos y en los resultados esperados. (Nota: la incorporación de tecnología también ofrece eficiencia pero requiere capacitación).
Ambiental	Desastres naturales, sequías, temporada de lluvias otros eventos naturales.	Daños en infraestructura, limitación de acceso a recursos esenciales, prohibición de materiales/insumos.	Retrasos, imposibilidad de desarrollo adecuado por falta de sustitutos, necesidad de buscar alternativas y realizar cambios rápidos sin afectar el presupuesto.

Fuente: Construcción propia.

Ante esta compleja serie de desafíos y riesgos potenciales en los que se encuentra enmarcado el mundo de los proyectos específicamente en ámbito de la gestión de recursos, se hace fundamental contar con estrategias de gestión de riesgos sólidas y planes de contingencia definidos, los cuales le permitan al equipo gestor superar los obstáculos de la mejor manera posible, a la vez que lograr el desarrollo exitoso del proyecto cumpliendo los objetivos planteados en un principio.

- **Limitaciones presupuestarias**

Como se mencionó anteriormente, los proyectos cuentan con un presupuesto limitado que proviene de los aportes de la empresa como de aliados estratégicos y demás instituciones aportantes.

En este sentido, se exige una planificación financiera rigurosa y eficiente, que permita optimizar al máximo el capital dispuesto, con el fin de cumplir los objetivos del proyecto, pero también contar con la capacidad de adaptarse a cambios no previstos y responder con agilidad a desafíos internos o externos. Factores como la relación con grupos de interés, fluctuaciones económicas, variables sociales, ambientales o culturales, pueden influir en la ejecución financiera del proyecto. Por ello, una adecuada gestión presupuestaria no solo considera la asignación inicial de recursos, sino también la capacidad de ajuste frente a escenarios cambiantes.

Durante la fase de formulación por medio de la experticia del formulador y las condiciones actuales económicas y precios del mercado, se delimitan los rubros que requieren asignación de presupuesto, se coordina y se incluyen gastos administrativos, logísticos y legales en caso de requerirse, para así llegar a un total global de presupuesto para el proyecto.

5.1.2 Actividad 2. Evaluación del impacto ocasionado por las necesidades identificadas en la gestión de recursos en los proyectos.

Una vez identificadas las necesidades descritas en la etapa anterior, se da paso a la evaluación del impacto generado por las mismas, como se menciona en la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Condiciones que factores de riesgo en la gestión de recursos en proyectos

Necesidad	Dimensión impactada	Impacto Positivo	Impacto negativo (por omisión)
Identificación de recursos.	Planeación estratégica sólida.	- Visualización de recursos requeridos previamente. - Elaboración de un cronograma realista. - Establecimiento de un presupuesto preciso. - Ejecución eficiente. - Control de costos efectivo. - Mitigación de riesgos. - Anticipación a posibles cuellos de botella. - Minimiza retrasos y desviaciones. - Toma de decisiones informada. - Ajustes en el plan y adaptación a cambios.	- Dificultades durante la fase de ejecución. - Retrasos significativos en el cronograma. - Desviaciones presupuestarias, que puede poner en peligro la viabilidad financiera. - Disminución en la calidad del trabajo, que implica sobrecostos y correcciones. - Decisiones precipitadas, insatisfacción de las partes interesadas y problemas en la comunicación.
Disponibilidad de recursos	Planificación. Gestión de costos. Calidad del trabajo. Toma de decisiones.	- Permite evaluar anticipadamente los recursos que se encuentran disponibles.	- Retrasos en el cronograma por indisponibilidad. - Desbordamiento del presupuesto. - Disminución en la calidad del trabajo, por improvisaciones teniendo en cuenta que los recursos no están disponibles. - Afectación en la reputación y satisfacción del cliente. - Toma de decisiones compleja sin comprensión clara de recursos.
Obtención de recursos	Planificación y ejecución. Selección de proveedores adecuados.	- Negociación y control de términos, plazos y costos para la obtención de recursos oportunamente. - Implica esfuerzos considerables en términos de tiempo como de recursos financieros. - Asegura la disponibilidad de recursos clave. - Contribuye a cumplir objetivos y cronograma.	- Los retrasos en la obtención de recursos pueden generar desafíos significativos en la ejecución del proyecto y poner en riesgo su éxito. - Costos adicionales por mala negociación o disponibilidad limitada. - Incertidumbre en los suministros.

Necesidad	Dimensión impactada	Impacto Positivo	Impacto negativo (por omisión)
Limitaciones presupuestarias	Planeación financiera	- Asignación estratégica de recursos según los rubros planificados. - Control presupuestario efectivo. - Capacidad de adaptación a cambios del entorno financiero. - Comunicación clara y decisiones rápidas ante imprevistos.	- Desviaciones presupuestarias que pueden comprometer la consecución de indicadores y metas con los recursos disponibles. - Compromiso del alcance y la calidad del proyecto. - Aumento de riesgos financieros. - Falta de transparencia con las partes interesadas.
Gestión de riesgos	Planeación financiera y ejecución	- Permite anticipar obstáculos, asignar recursos adecuadamente y desarrollar estrategias de mitigación eficaces.	- Subestimación de necesidades. - Asignación desigual de recursos. - Retrasos en la ejecución del proyecto. - Conflictos internos y aparición de riesgos no previstos que afectan al proyecto.

Fuente: Construcción propia

5.2 Etapa 2: Caracterización de las diferentes técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos

5.2.1 Actividad 1. Revisión de las técnicas de inteligencia artificial que se utilizan en la gestión de proyectos

En la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) (Zabala Vargas, Jaimes Quintanilla, & Barrera, 2023) llevaron a cabo una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de explorar las técnicas de inteligencia artificial (IA) más utilizadas en la gestión de proyectos dentro de este sector, entre ellas identificaron el aprendizaje profundo, las máquinas de soporte vectorial (SVM), el algoritmo de los K-vecinos más cercanos (KNN), Random Forest, Decision Tree Classifier y Naive Bayes. Además, técnicas como los algoritmos genéticos, redes neuronales, lógica difusa, aprendizaje automático, visión por computadora, así como el uso de ciencia de datos y big data, los cuales han mostrado

tener un impacto considerable en la eficiencia y eficacia de la gestión de proyectos en esta industria.

(Zabala Vargas, Jaimes Quintanilla, & Barrera, 2023) lograron identificar que la implementación de algoritmos de IA permite la automatización de tareas repetitivas y rutinarias, mejora la toma de decisiones al procesar grandes volúmenes de datos generar información valiosa, y facilita la predicción en el desarrollo de proyectos. Asimismo, la IA ayuda a identificar factores críticos y riesgos de forma temprana, optimizar la planificación, mejorar la comunicación con las partes interesadas, realizar controles de costos, prever inflaciones y gestionar retrasos en las entregas, problemas de calidad y optimización de diseños de construcción.

Mediante una revisión de la literatura (Auth, Jokisch, & Durk, 2019) destacaron que la Inteligencia Artificial está creando posibilidades de aplicación en la gestión de proyectos. Realizan una descripción de los enfoques de IA y las herramientas con las cuales se puede automatizar tareas en esta área del conocimiento, encontrando que la gestión de proyectos cada vez más analítica, cuya principal base son los datos, emplea métodos analíticos para recopilar resultados del pasado o el presente para realizar predicciones sobre desarrollos futuros, ejemplo de ello, citan a Singh (2015), quien describió procesos y ejemplos de aplicaciones basadas en regresión lineal para la predicción de cambios de costos a través de la extensión del alcance y duración del proyecto para el área de gestión de proyectos. Los autores también exploran algunas plataformas de IA para la gestión de proyectos ofrecidas por consultoras, las cuales se estarán presentando con mayor detalle en la actividad número dos de esta etapa.

En esta misma línea, la inteligencia artificial, en específico, el aprendizaje automático es empleado para la predicción (Hofmann, Johnk, Protschky, & Urbach, 2020), existen aplicaciones de IA basadas en presupuesto, priorización de requisitos y análisis de riesgos. Bajo esta idea, los autores presentan trabajos como los de Tronto et al, quienes predicen el esfuerzo de proyectos en función de costos y variables del tamaño del software, para lo anterior, se emplean redes neuronales artificiales y regresión lineal. También presentan el concepto de Nayebi et at. quienes desarrollaron un sistema de soporte para la toma de decisiones empleando procesamiento del lenguaje natural con el fin de mejorar la

estimación del esfuerzo, alcance y asignación de solicitudes de cambio en proyectos de software. Adicionalmente, destacan que en la gestión de proyectos los chatbots, sueles ser aplicaciones muy empleadas, y que si bien la adopción de la IA genera grandes oportunidades es también primordial revisar los desafíos y barreras que pueden existir para su implementación.

(Elmousalami, 2021) en su trabajo realiza la evaluación de 20 técnicas de inteligencia artificial que se emplean para el modelado conceptual de costes, entre ellos, modelo de lógica difusa, redes neuronales artificiales, regresión múltiple, modelos híbridos, razonamiento basado en casos, modelo difuso genético, métodos de conjuntos, árboles de impulso escalable y bosques aleatorios. Para ello, toman como punto de partida el hecho de que la predicción conceptual de costos es uno de los criterios fundamentales para la toma de decisiones en las primeras etapas del proyecto, pues a partir de ese valor se realiza el análisis de riesgos y el estudio de viabilidad del proyecto. Frente a ello, los autores recalcan que la estimación de los costos debe realizarse en un periodo limitado, lo cual hace que se convierta en una tarea difícil para ingenieros de costos, gerentes de proyectos y aquellos quienes tomen decisiones.

En esta misma línea (Elmousalami, 2021) también enfatiza en desarrollar un modelo basado en los principales factores de costos extraídos a partir de la experiencia de expertos y casos anteriores recopilados, ello con el fin de que por medio de la estimación de costes se reduzca el tiempo y esfuerzo de estudio de cantidades, se minimicen los errores humanos pues debido a que las estimaciones las realiza una persona pueden existir sesgos e inexactitudes y finalmente que se requiere una herramienta confiable y precisa para que los gerentes del proyecto y tomadores de decisiones evalúen el costo conceptual del proyecto.

Finalmente, el autor una vez ha realizado un recorrido por las técnicas de machine learning: Regresión Lineal, Árboles de Decisión, Máquina de Soporte Vectorial, Gradient Boosting, Bosques Aleatorios, K- Vecinos más Cercanos, destaca las bondades de cada uno de ellos para la predicción de costes de proyectos de construcción, también resalta la optimización de enjambre de partículas en la optimización de costos lo cual permite mejorar el modelado y por ende en este contexto reducir eficazmente los costos. (Elmousalami, 2021)

Aunque se ha demostrado que las aplicaciones de la IA en la gestión de proyectos se han centrado principalmente en algoritmos de aprendizaje automático, análisis predictivo y procesamiento de lenguaje natural, también se han desarrollado técnicas de inteligencia artificial como los chatbots (Joshi H. , 2024). Estos chatbots tienen una aplicación particular en la participación de las partes interesadas en un proyecto, donde su principal utilidad radica en el apoyo continuo a través de la interacción constante con dichas partes. En este estudio, se determinó que estas técnicas de IA mejoran la comunicación al ofrecer respuestas inmediatas y personalizadas a las partes interesadas, reduciendo los tiempos de respuesta y mejorando la eficiencia en el intercambio de información.

Según el análisis realizado por (Joshi H. , 2024) la incorporación de chatbots impulsados por IA en la interacción con las partes interesadas del proyecto presenta una gran oportunidad para los gerentes de proyectos. Al utilizar estas tecnologías de manera estratégica y enfrentar los desafíos, los gerentes pueden mejorar la comunicación, optimizar los recursos y contribuir al éxito de los proyectos en el entorno dinámico de la gestión de proyectos.

En esta misma línea de investigación, (Bushuyev, Bushuyev, Bushuyeva, Bushuyeva, & Tykchonovych, 2024) realizan una revisión de la literatura con el objetivo de profundizar en las facetas de la gestión estratégica de proyectos influenciadas por la inteligencia artificial. Esto incluye la toma de decisiones basadas en datos, el análisis predictivo, la automatización de tareas rutinarias y la optimización de recursos, aspectos mencionados anteriormente. Además, se explora el papel de la IA en la gestión de riesgos, cómo el procesamiento de lenguaje natural mejora la comunicación en los equipos de trabajo y cómo la planificación adaptativa de proyectos basada en IA permite responder de manera dinámica y asertiva a los cambios durante el periodo de ejecución. Gracias a los datos históricos de proyectos, las organizaciones pueden anticipar desafíos y tomar decisiones informadas. Finalmente, se concluye que las herramientas de inteligencia artificial, combinadas con la experiencia humana, pueden lograr resultados de proyectos más adaptativos y exitosos.

En esta misma línea de investigación para reconocer cómo las técnicas de inteligencia artificial están impactando en la gestión de proyectos (Odeh, 2023) en su trabajo destacan

cómo la adopción de este tipo de técnicas está impulsando la innovación y transformando la profesión. Se toma como punto de partida un informe del Global McKinsey Institute el cual identifica avances tecnológicos disruptivos como la automatización de trabajos del conocimiento, el aprendizaje automático, interfaces de usuarios y big data; de acuerdo con esto, el autor retrata en su estudio que estas tecnologías están eliminando funciones tradicionales de la gestión de proyectos, como la recopilación de datos, el seguimiento y los reportes, y se espera que para 2030, el 80% del trabajo actual en gestión de proyectos sea realizado por IA.

Respecto a las aplicaciones identificadas de técnicas de IA (Odeh, 2023) resalta la detección rápida y la asignación eficiente de recursos, lo cual permite mejoras en la planificación y programación al integrar calendarios y estimaciones de tareas y automatiza procesos para resolver problemas en tiempo real. Bajo esta misma línea, destacan que también se puede mejorar la coordinación y precisión de estimaciones de presupuesto y tiempo y que los resultados obtenidos muestran que la IA facilita la gestión de proyectos y mejora la precisión y confianza en las estimaciones, cruciales para el éxito.

La adopción de la inteligencia artificial (IA) en la gestión de proyectos promete mejorar significativamente la eficiencia y precisión de varios procesos explican (Mariani & Mancini, 2022) .La IA puede automatizar tareas repetitivas y de bajo valor añadido, permitiendo a los gestores de proyectos centrarse en la gestión del equipo y en la creación de valor para la empresa. Entre las áreas más beneficiadas se encuentran la gestión de costos, la gestión de cronogramas y la gestión de riesgos, donde la IA puede realizar estimaciones precisas y monitorear el progreso de manera más efectiva.

5.2.2 Actividad 2. Análisis de casos de éxito y limitaciones de las técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos

A continuación se relacionan los casos de éxito que fueron identificados respecto a las técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos.

(Bushuyev, Bushuyev, Bushuyeva, Bushuyeva, & Tykchonovych, 2024) en su trabajo realizan una síntesis de las áreas funcionales de la IA que pueden impulsar el desarrollo de la gestión estratégica de proyectos, relacionado en la figura 5-2.

Figura 5-2: Síntesis de las áreas funcionales de la IA que pueden impulsar el desarrollo de la gestión estratégica de proyectos.

Toma de decisiones basada en datos	Gestión de riesgos	Asignación de recursos
• La inteligencia artificial puede ayudar a los gerentes de proyectos a tomar decisiones informadas teniendo en cuenta datos históricos, identificación de patrones y realizando la predicción de riesgos potenciales y detectando oportunidades.	• Los algoritmos de IA pueden ayudar a detectar riesgos tomando como punto de partida el análisis de datos históricos e identificando posibles áreas en alerta, lo cual permite tomar decsiones de forma preventiva.	• Procurar que los recursos correctos están asignados correctamente para generar eficiencia.
Monitoreo y reportes del proyecto	**Planeación adaptativa del proyecto**	**Mejoramiento Continuo**
• La inteligencia artificial entrega continuamente información al gestor del proyecto sobre el progreso y desempeño, entregando actualizaciones a tiempo real, además algunas herramientas generan reportes compresibles que permiten al gestor del proyecto tomar decisiones informadas.	• Al informar sobre cambios en tiempo real, la IA permite que los gestores del proyecto ajusten cronogramas, presupuestos y asignaciones de recursos de acuerdo con el contexto del proyecto.	• Por medio de las herramientas de inteligencia artificial y la analitca de datos, se pueden identificar áreas de mejora y recomendar estrategias para la supervisión de futuros proyectos.

Fuente: Strategic project management development under influence or artificial intelligence. (Bushuyev, Bushuyev, Bushuyeva, Bushuyeva, & Tykchonovych, 2024)

Las técnicas más destacadas incluyen Redes Neuronales Artificiales (ANNs), Redes Bayesianas (BN), Aprendizaje Supervisado y Aprendizaje por Refuerzo (Bahroun, Tanash, & Mohamad Alnajar, 2023). Estas técnicas permiten automatizar tareas repetitivas y de bajo valor añadido, mejorando la gestión de costos, cronogramas y riesgos mediante estimaciones más precisas y monitoreo efectivo del progreso. Además, la IA facilita la planificación de reuniones, el seguimiento de tareas y la generación de informes de calidad a través de asistentes virtuales.

(Hofmann, Johnk, Protschky, & Urbach, 2020) destacan el papel de los bots en la gestión de proyectos, mencionando al bot asistente de proyecto Stratejos, el cual apoya a los equipos de proyecto compartiendo tareas diarias, creando nuevas tareas y solicitando a las personas que terminen los problemas faltantes; también exhiben al bot redbooth el cual ilustra las tareas y problemas diarios en los que trabaja el equipo, finalmente destaca a PMOtto el cual es un asistente virtual que asesora sobre el tiempo, costo y recursos de una tarea basándose en machine learning.

- Limitaciones

Si bien en apartados anteriores de este trabajo se han destacado la gran cantidad de beneficios que puede aportar la implementación de técnicas de inteligencia artificial en la gestión de proyectos, no es posible dejar a un lado, que dicha acción trae consigo unos desafíos y limitaciones que se deben tener en cuenta previamente. A continuación, se realiza un recuento de las limitaciones y desafíos encontradas en los trabajos revisados:

Tabla 5-4: Limitaciones y desafíos con base en revisión de literatura realizada.

Autores	Desafíos / Limitaciones Identificadas	Causas o Factores Asociados	Áreas Afectadas	Implicaciones para la Gestión de Proyectos
(Bushuyev, Bushuyev, Bushuyeva, Bushuyeva, & Tykchonovych, 2024) en	Consideraciones éticas, seguridad de datos, sesgos algorítmicos	Avances tecnológicos rápidos sin marcos éticos robustos	Ética, Seguridad, Organizacional.	Necesidad de marcos regulatorios; políticas de IA responsable alineadas con valores institucionales
(Tayyab Zia, Nadim, Ahmad Khan, Akram, & Atta, 2024)	Protección de datos, implicaciones éticas, carencia de habilidades del talento humano	Insuficiente preparación del personal, crecimiento acelerado de IA	Ética, Técnica, Recursos Humanos	Inversión en formación y capacitación; fortalecimiento de competencias digitales
(Mariani & Mancini, 2022)	Alta demanda de datos, transformación del rol del gestor de proyectos, necesidad de	Modelos de IA dependientes de grandes volúmenes de datos; evolución del perfil profesional	Técnica, Profesional, Organizacional	Redefinición del rol del gestor; incorporación de perfiles con conocimientos en IA y ciencia de datos

Autores	Desafíos / Limitaciones Identificadas	Causas o Factores Asociados	Áreas Afectadas	Implicaciones para la Gestión de Proyectos
	nuevas habilidades			
(Zabala Vargas, Jaimes Quintanilla, & Barrera, 2023)	Brecha en análisis de riesgos; escaso uso de IA para vigilancia y control; complejidad técnica; costos y mantenimiento; resistencia al cambio	Limitaciones de infraestructura tecnológica; barreras culturales y presupuestales	Técnica, Organizacional, Económica	Diseño de estrategias de implementación progresiva; integración tecnológica con sistemas existentes
(Auth, Jokisch, & Durk, 2019)	Automatización limitada de funciones del director de proyecto; desafíos en aceptación, confiabilidad, transparencia, ética y legalidad	Desarrollo temprano de IA en gestión de proyectos; falta de normativa específica	Ética, Legal, Técnica, Organizacional	Definir claramente los límites del uso de IA; crear normativas claras y transparentes

Fuente: Construcción propia.

5.3 Etapa 3: Composición de un conjunto de elementos que permita la integración de gestión de recursos y al menos una técnica de la inteligencia artificial, visando la optimización de proyectos

El desarrollo de la etapa tres, se desarrolló teniendo en cuenta las dos actividades planteadas, que se muestran a continuación.

5.3.1 Actividad 1. Identificación de los elementos necesarios para integrar la gestión de recursos y una técnica de inteligencia artificial en una solución que permita la optimización de proyectos

De acuerdo con la revisión de literatura realizada y la exploración en relación con las técnicas de inteligencia artificial aplicadas en la gestión de proyectos, y teniendo en cuenta

que este trabajo se realiza con el fin de lograr la optimización de proyectos partiendo de una de las partes claves de la gestión de proyectos: la gestión de recursos y su integración a una técnica de inteligencia artificial, se identifican los siguientes elementos que harán posible dicha integración:

Identificación situación problema: La asignación de recursos en un proyecto suele ser compleja y requiere validar estimaciones mediante proyectos históricos para aproximarse a las necesidades reales. No obstante, múltiples factores pueden interferir en la precisión del presupuesto, debido a la complejidad e incertidumbre inherentes a los proyectos. Los gestores y encargados de presupuestos deben enfrentar condiciones en la fase de formulación que frecuentemente difieren de las de ejecución. Dado que los recursos son limitados, es crucial realizar estimaciones precisas que permitan cumplir los objetivos sin exceder el presupuesto y optimizar la asignación según las necesidades reales.

Foco de la propuesta: Integrar técnicas de inteligencia artificial en la gestión de recursos, específicamente en los procesos de formulación y asignación de presupuestos en proyectos, con el fin de realizar estimaciones más precisas y optimizar la asignación de recursos para satisfacer las necesidades de manera eficiente.

Objetivo de la propuesta: Optimizar asignación de presupuesto total para minimizar sobrecostos y maximizar la eficiencia, garantizando el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Definición operativa "Optimización": En el contexto del modelo se entenderá por optimización al proceso de asignar eficientemente el presupuesto total que se requiere para la ejecución de un proyecto, con el propósito de minimizar sobrecostos y evitar subestimaciones durante la etapa de formulación de presupuesto de proyectos. Esta optimización se traduce en la estimación de un presupuesto ajustado a la realidad, empleando como insumo los datos históricos de ejecución de proyectos. La medición de este concepto se realiza por medio del cálculo de la diferencia entre el presupuesto formulado y el presupuesto ejecutado.

Análisis de riesgos: Es fundamental validar los factores de riesgo que influyen en la formulación del proyecto. Entre ellos se encuentran los cambios en las condiciones del

mercado, como la inflación anual, que puede generar sobrecostos en materiales, insumos y equipos, así como las fluctuaciones en la tasa de cambio. Otros riesgos incluyen proyecciones inexactas para años futuros, tanto en materiales como en talento humano y servicios, así como la posible escasez de materiales o equipos, lo que incrementa los costos. Finalmente, los factores macroeconómicos pueden impactar considerablemente las proyecciones iniciales del presupuesto.

Construcción del *Dataset*: Con el fin de enfocar el trabajo hacia la precisión en la estimación de presupuestos, es esencial consolidar una base de datos robusta que integre la mayor cantidad de proyectos posibles. Esta base debe incluir variables clave que influyen en la formulación del presupuesto y el cumplimiento de los objetivos.

Estas variables pueden abarcar aspectos como costos históricos de materiales, mano de obra, equipos, tiempos de ejecución, desviaciones presupuestales en proyectos anteriores, y factores externos como la inflación o las fluctuaciones del mercado.
El proceso de recolección de datos se realizará a partir de proyectos previos gestionados por la organización, la cual integra los proyectos como parte central de su misión.

Preprocesamiento y análisis exploratorio de los datos: Para garantizar la calidad y coherencia del *Dataset,* es relevante analizar y/o eliminar valores atípicos, corregir inconsistencias y transformar variables categóricas, lo que permite a los modelos predictivos interpretar correctamente la información. A través del análisis exploratorio se pueden identificar patrones, correlaciones y relaciones ocultas entre las variables, optimizando la selección de las más relevantes reduciendo el ruido y enfocando el análisis a causalidad de los modelos a proponer, lo cual mejora la precisión de las predicciones, permitiendo así ajustar los presupuestos de manera más eficiente y asegurar que los algoritmos de inteligencia artificial puedan hacer estimaciones de costos precisas y fiables, contribuyendo así a la optimización de la asignación de recursos en los proyectos.

Selección de la técnica de inteligencia artificial: Para estimar con precisión el presupuesto de un proyecto y evitar sobrepasar los recursos limitados, se explorarán diferentes algoritmos de aprendizaje supervisado. Entre ellos, se consideran técnicas de regresión, como la Regresión Lineal, Regularizaciones Ridge, Lasso, ElasticNet y Árboles

de Decisión, así como redes neuronales para casos más complejos. Estas herramientas permitirán predecir los costos de ejecución del proyecto de manera eficiente y ajustada a las necesidades reales.

Realizar el modelado y proceso de evaluación: Una vez seleccionados los algoritmos más adecuados para abordar el problema, se procede a entrenar los modelos utilizando el conjunto de datos de entrenamiento y prueba. Posteriormente, para la evaluación de los métodos planteados se analizan las métricas de rendimiento obtenidas, tales como el error cuadrático medio (MSE), error absoluto medio (MAE) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE), con el objetivo de comparar y determinar cuál de los modelos ofrece las predicciones más precisas y ajustadas a las necesidades del proyecto. Estas métricas se pueden calcular mediante las ecuaciones de la Tabla 5-5.

Tabla 5-5: Descripción de las métricas de evaluación de los métodos.

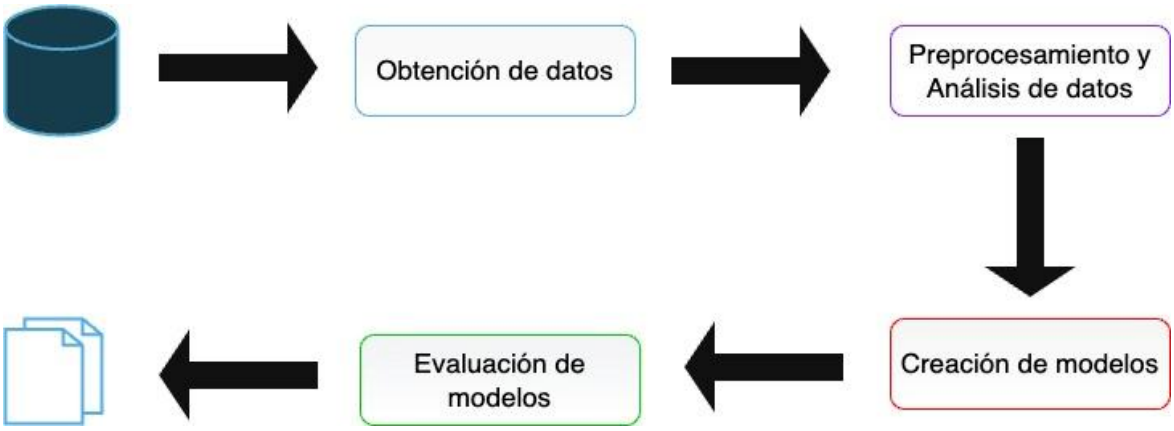
Métricas	Ecuación
Error medio absoluto	$\text{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\lvert y_i - \hat{y}_i\rvert$
Error Cuadrático Medio	$\text{MSE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2$
Raíz del Error Cuadrático Medio	$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$

$Donde\ y_i\ es\ el\ valor\ predicho\ y\ \hat{y}_i\ es\ el\ valor\ observado.$

5.3.2 Actividad 2. Esquematización de la solución integrada de gestión de recursos y la técnica de inteligencia artificial seleccionada.

En este apartado, se presenta la esquematización que refleja la integración de la gestión de recursos y la técnica de inteligencia artificial como una solución.

Figura 5-3: Esquematización de solución integrada



Fuente: Construcción propia

5.4 Validación del modelo anterior, a través del análisis de un caso de uso

Con el fin de responder a la última etapa de este trabajo de grado, se realizaron las siguientes actividades:

5.4.1 Actividad 1. Selección de un caso de estudio adecuado que permita validar el modelo diseñado en las fases anteriores.

El presente caso de estudio se desarrolló a partir de información suministrada por una organización que ejecuta proyectos de investigación en campos de conocimiento relacionados con el cultivo de café en Colombia.

Figura 5-4: Cultivo de café en Colombia

Fuente: (Vanegas, 2016)

De acuerdo con lo anterior, se gestionó con la organización el acceso a la información relacionada con los proyectos de investigación que ha realizado a través del tiempo en cada una de las disciplinas de estudio: Agroclimatología, Biometría, Calidad, Entomología, Economía, Fisiología vegetal, Fitotecnia, Fitopatología, Mejoramiento genético, Poscosecha y Suelos, las cuales cubren el ciclo productivo del café partiendo de la semilla a la taza.

- **Proceso de formulación de proyectos**

Con el fin de desarrollar el proyecto, se gestionó con el área de Planeación Financiera y Presupuesto el acceso a los datos requeridos, pues esta área es la encargada de realizar la formulación de cada proyecto de investigación en trabajo conjunto con el investigador líder de la actividad, y es allí donde se realiza el control presupuestal y se realizan los informes de ejecución final de los proyectos.

Al momento de realizar la formulación de un proyecto, el investigador líder de la actividad se reúne con un analista financiero para diligenciar la plantilla de Excel de formulación, esta actividad se realiza en conjunto. En la plantilla se diligencian diferentes páginas como por ejemplo:

- Información del proyecto que incluye título de la investigación, origen de recursos (en el caso de que sean recursos propios, actividades permanentes o convenios de cofinanciación), disciplina, posible código a asignar, fecha de iniciación, fecha de finalización, duración y responsable.
- Gastos de personal.
- Gastos de viaje.
- Materiales y suministros.
- Servicios y otros.
- Maquinaria, equipos y software.

Una vez diligenciadas todas las pestañas del archivo, dependiendo de la naturaleza del proyecto, la información se consolida en una tabla que presenta el presupuesto formulado año a año y el total.

El archivo Excel está diseñado para que al asignar valores, cantidades y otros datos en específico, se genere automáticamente el cálculo aproximado para asignar al rubro. Para la formulación se tienen en cuenta variables económicas actuales.

Construcción del *Dataset*

- **Extracción de datos proyectos formulados**

Para la construcción del dataset empleado en este trabajo de grado, se accedió a archivos en formato Excel que contenían la información presupuestaria de aproximadamente 300 proyectos de investigación formulados en el periodo comprendido entre 2018 y 2024. Dado que la estructura de estos archivos no era homogénea, fue necesario diseñar un procedimiento automatizado para la extracción y consolidación de los datos relevantes.

El proceso de extracción de información se llevó a cabo mediante la lectura sistemática de archivos. Para ello, se identificaron y clasificaron los archivos según la cantidad de hojas contenidas, registrando aquellos que incluían el resumen del presupuesto formulado e información clave sobre la disciplina del proyecto, su código identificador y la duración estimada.

Posteriormente, para la identificación de variables específicas, se implementaron funciones que permitieron localizar valores dentro de las hojas de cálculo, tanto en columnas específicas como a lo largo de toda la estructura de datos. Se establecieron categorías de gasto como contrato obra/labor, nómina, gastos por comisiones de trabajo, materiales y suministros, servicios y otros y maquinaria, equipos y software, cuyos valores fueron extraídos a partir de la última columna correspondiente al total de las tablas presentes en los archivos. Adicionalmente, se recopilaron variables económicas de interés, tales como el precio del galón de gasolina, la tasa de cambio representativa del mercado (TRM), el incremento anual estimado del salario mínimo, el incremento del salario de la organización y el valor del jornal (unidades de trabajo en campo).

Una vez extraídos los datos de cada archivo, se consolidaron en un único *dataframe*, aplicando un proceso de limpieza y normalización, se eliminaron proyectos cuyo código contenía caracteres no estandarizados, se reemplazaron valores nulos con ceros y se estandarizaron los nombres de las columnas mediante la eliminación de tildes y caracteres especiales. Finalmente, el *dataset* resultante fue almacenado en un archivo CSV, logrando así consolidar información de presupuesto formulado de 261 proyectos, cada uno con 15 campos.

- **Consolidación de datos de proyectos ejecutados**

Para consolidar el dataset, se realizó un proceso de extracción y consolidación de datos provenientes de los proyectos ejecutados. Se continúo descargando la ejecución por año desde 2018 a 2024 de los proyectos ejecutados en la organización, siendo esta información descargada en partidas individuales, obteniendo de esta forma 7 archivos planos.

Con el fin de tener la información lista para futuros pasos, se consolidó la base de datos por año de acuerdo con lo siguiente:

- En el sistema SAP, se procedió a descargar las partidas individuales por año.
- Se realizó un filtro por columnas de la hoja de cálculo, dejando únicamente las relevantes
- Se consolidó la información específica de cada proyecto: el código SIGA (identificador del proyecto), el nombre del experimento, la fecha de inicio, la fecha fin, y el origen de los recursos.

- Para identificar los rubros de ejecución se realizó un análisis detallado de las cuentas contables.
- Posteriormente, se realizó una categorización para concentrar las cuentas contables en 5 grandes rubros: nómina, gastos por comisiones de trabajo, materiales y suministros, servicios y otros, y maquinaria, equipos y software, para de este modo poder contar con la ejecución por rubro por proyecto, frente a la formulación por rubro por proyecto descrita en la parte anterior.

De acuerdo, con lo mencionado anteriormente los archivos en formato Excel que contenían la información de ejecución de proyectos por año fueron organizados y procesados sistemáticamente con el objetivo de estructurar un dataset que permitiera analizar la ejecución presupuestaria de los proyectos de investigación.

El procedimiento de estructuración del *dataset* de datos ejecutados inició con la identificación y carga de los archivos almacenados en la carpeta base de proyectos ejecutados. Para ello, se recorrió el conjunto de archivos y posteriormente, se diseñó un método de lectura automatizada que permitiera extraer los datos de cada archivo, asegurando la limpieza y normalización de la información. Entre las transformaciones aplicadas se incluyeron la eliminación de espacios en los nombres de columnas, la conversión de variables clave a tipo cadena y la depuración de registros con valores nulos o inconsistentes.

Una vez extraídos, los datos fueron consolidados en un único dataframe a través de la concatenación de los distintos archivos procesados por año de ejecución. Posteriormente, se agruparon los proyectos según el programa de financiación, calculando la suma de los rubros ejecutados (TOTAL) y generando listas acumulativas de los códigos de proyecto (Código SIGA) y de los años en los que se registraron ejecuciones presupuestarias.

- **Preprocesamiento del conjunto de datos**

Una vez culminada esta fase de obtención de datos, el resultado fue la generación de un conjunto de datos denominado datos_formulados, y otro *dataset* denominado datos_ejecutados, el cual contiene la información consolidada de los proyectos

ejecutados correspondientes en cada una de las disciplinas de estudio de la organización, identificadas por el programa financiero y el código SIGA los cuales son identificadores de los proyectos. Finalmente se procedió a realizar los siguientes análisis:

Procesamiento de variables tipo fecha: Se obtuvo el año máximo dónde cada proyecto tenía ejecución, teniendo en cuenta que en el *dataset* se encontraban en forma de listas como registro de que algunos de los proyectos se ejecutaron durante varios años, esto se realizó con el fin de tener el año de finalización. Se cambió el tipo de dato de las fechas de inicio y fecha fin a tipo *datetime*, para la coherencia y utilidad de las variables, como se muestra en la Figura 5-5.

Figura 5-5: Variables tipo fecha (excepto TOTAL) antes del preprocesamiento.

Fecha Inicio	Fecha fin	TOTAL	Año	Año Maximo
2020-03-01	2024-12-31	45832000	[2020]	2020
2019-06-15	2023-06-14	8378000	[2020]	2020
2018-01-01	2019-01-02	4585727	[2018]	2018
2018-01-01	2021-03-31	32898494	[2018, 2019, 2020]	2020
2018-01-01	2020-11-22	1691499	[2018, 2019]	2019

Fuente: Construcción propia.

Teniendo en cuenta que para este caso de estudio se utilizó proyectos ejecutados entre 2018 y 2024, se estableció un rango límite donde los proyectos debían tener una fecha mínima de 01/01/2018 y fecha máxima 31/12/2024, con el fin de que si existen proyectos cuya fecha exceda esos límites, se normalicen en estos rangos pues no se cuenta con información adicional.

En el caso de las fechas fin que corresponden a actividades permanentes y tienen una fecha fin “PERMANENTE”, se verifica en el dataset el último año de ejecución, con el fin de asignarle como fecha fin el 31 de diciembre de ese año. Posteriormente, verificamos que no existan valoren nulos en la columna fecha fin. Finalmente, se calcula la duración

(duración_ejecutada) de cada proyecto en años, a partir de la diferencia entre la fecha de inicio y la fecha de fin, como se muestra en la Figura 5-6.

Figura 5-6: Variables tipo fecha (excepto TOTAL) después del preprocesamiento.

Fecha Inicio	Fecha fin	TOTAL	Año	Año Maximo	duracion_ejecutada
2020-03-01	2024-12-31	45832000	[2020]	2020	4.838356
2019-06-15	2023-06-14	8378000	[2020]	2020	4.000000
2018-01-01	2019-01-02	4585727	[2018]	2018	1.002740
2018-01-01	2021-03-31	32898494	[2018, 2019, 2020]	2020	3.246575
2018-01-01	2020-11-22	1691499	[2018, 2019]	2019	2.893151

Fuente: Construcción propia

Consolidación de los *datasets* de proyectos formulados y ejecutados: Con el fin de consolidar el *dataset* para la gestión de recursos para la optimización de proyectos empleando técnicas de inteligencia artificial, se procedió a combinar la información de los proyectos formulados y ejecutados en una sola estructura.

Para ello, se llevó a cabo el proceso de integración basado en la clave en común “CODIGO SIGA” en el caso del dataframe de datos_ejecutados y “Codigo Proyecto” en el dataframe datos_formulados:

Se normalizaron las claves primarias, convirtiéndolas a formato *string*, eliminando espacios adicionales que pueden ocasionar inconvenientes al unir los *dataframes*.
Una vez normalizadas las claves se realiza la fusión de ambos conjuntos de datos por medio de un *inner join*, el cual permite conservar únicamente los proyectos presentes en ambas bases de datos.
Después de la fusión, se detectó los proyectos que se encontraban sólo en uno de los dos conjuntos de datos y que, por lo tanto, quedaron excluidos. Esto permitió detectar posibles inconsistencias en la base de datos, como proyectos que fueron formulados, pero nunca ejecutados, o aquellos cuyo código SIGA fue modificado en el paso de los años. De este proceso se obtuvo un total de 186 proyectos.

Se creó una nueva variable que capta la diferencia entre la duración formulada y la duración que tuvo el proyecto en la ejecución, denominada diferencia duración.

De este dataset, se eliminó las columnas que se consideraron irrelevantes para la predicción:

- CODIGO SIGA: teniendo en cuenta que es el identificador de cada proyecto.
- ProgrFinan: otro identificador de tipo numérico de cada proyecto.
- Año: correspondiente a la lista comprendida por los años de ejecución de los proyectos.
- Contrato Obra/labor: la cual es una variable esporádica, que en muchos casos no presenta un valor.
- Fecha inicio y fecha fin: las cuales están reflejadas en la nueva variable creada denominada duración_ejecutada y la cual finalmente se confrontó con la variable duración (tiempo), relacionada con la duración estimada en el proceso de formulación.

A continuación se relaciona en la tabla 5-6 las variables del dataset consolidado.

Tabla 5-6: Variables *Dataset* Consolidado.

Variable	**Tipo de Dato**	**Descripción**
Disciplina	Object	Corresponde al área de conocimiento alrededor de café al que pertenece el proyecto.
Duración (tiempo)	Float	Hace referencia al tiempo de duración en años que se formuló en un inicio duraría el proyecto.
Duración_ejecutada	Float	Hace referencia al tiempo de duración en años real en el cual se ejecutó el proyecto.
Diferencia_duracion	Float	Corresponde a la diferencia entre la duración formulada (Duración (tiempo) y la duración real en la que se ejecutó un proyecto (duración_ejecutada) ejecutada.
Nomina	Float	Incluye los salarios relacionados con el personal que se desempeña en cada uno de los proyectos.
Gastos por Comisiones de Trabajo	Float	Asociados a los gastos correspondientes a desplazamientos, pagos de peajes, combustibles, transportes aéreos y terrestres, viáticos y tarifas de alojamiento en hotel.
Materiales y Suministros	Float	Corresponde a los costos asociados con la adquisición de materiales y bienes, se tiene en cuenta el valor aproximado del bien a adquirir, las

Variable	Tipo de Dato	Descripción
		unidades que se requieren y la inflación esperada para el periodo de adquisición.
Servicios y Otros	Float	Hace referencia a todos aquellos servicios especializados que se requieren para el desarrollo de la investigación, envíos, análisis, evaluaciones y demás.
Maquinaria Equipos y Software	Float	Este rubro está relacionado con los costos asociados a la adquisición de máquinas, equipos especializados, licencias y software.
Gasolina por Galon	Int	Valor de la gasolina por galón correspondiente al momento de formulación del proyecto con la cual se proyecta el valor de las comisiones de trabajo y los gastos de uso de vehículo.
TRM	Int	Tase de cambio que hace referencia al valor de la moneda nacional con referencia al dólar estadounidense, la cual es una variable económica que se toma en cuenta en el caso de servicios tecnológicos, maquinaria, equipos y software y materiales y suministros que son de importación.
Incremento Anual estimado SMMLV	Float	Incremento porcentual del salario mínimo proyectado de acuerdo con el año en el que se formuló el proyecto.
Incremento estimado Salario	Float	Incremento porcentual del salario en la organización proyectado de acuerdo con el año en el que se formuló el proyecto.
Inflacion Anual estimada	Float	Corresponde al incremento en los precios de bienes y servicios dado un periodo de tiempo, en este caso, la inflación proyectada de acuerdo al año en el cual se formuló el proyecto.
Valor Jornal	Int	Hace referencia al valor de la labor agrícola (servicio de trabajo en campo) el cual varía año a año, pero se toma como base el valor del jornal en el año de formulación.
TOTAL	Float	Corresponde al valor real de ejecución del proyecto.

Fuente: Construcción propia

- **Datos nulos y limpieza de nombres**

Una vez se tuvo consolidado el *dataset* como se puede evidenciar en la tabla 5-6, se procede a finalizar la preparación de este, de la siguiente forma:

Exploración de los tipos de variables existentes y verificación de valores nulos: Para evaluar la calidad de los datos, se identifica la presencia de valores nulos en el dataframe, obteniendo cero datos nulos como se puede ver en la figura 5-7.

Figura 5-7: Información inicial del *dataframe* usado

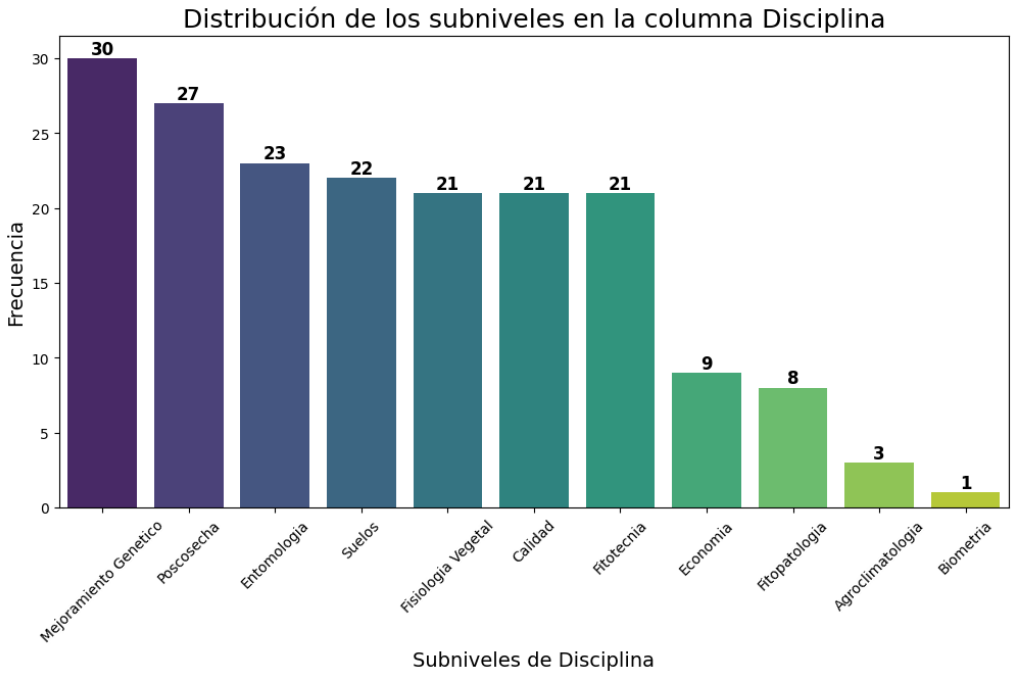
```
Información del DataFrame:
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 186 entries, 0 to 185
Data columns (total 16 columns):
 #   Column                            Non-Null Count  Dtype
---  ------                            --------------  -----
 0   Disciplina                        186 non-null    object
 1   Duracion (Tiempo)                 186 non-null    float64
 2   duracion_ejecutada                186 non-null    float64
 3   diferencia_duracion               186 non-null    float64
 4   Nomina                            186 non-null    float64
 5   Gastos por Comisiones de Trabajo  186 non-null    float64
 6   Materiales y Suministros          186 non-null    float64
 7   Servicios y Otros                 186 non-null    float64
 8   Maquinaria Equipos y Software     186 non-null    float64
 9   Gasolina por Galon                186 non-null    int64
 10  TRM                               186 non-null    int64
 11  Incremento Anual estimado SMMLV   186 non-null    float64
 12  Incremento estimado Salario FNC   186 non-null    float64
 13  Inflacion Anual estimada          186 non-null    float64
 14  Valor Jornal                      186 non-null    int64
 15  TOTAL                             186 non-null    float64
```

Fuente: Construcción propia

- **Análisis Exploratorio**

Subniveles en las variables categóricas: En el *dataset* existe una sola variable categórica llamada **disciplina.** Es una variable interés debido al impacto causal que puede tener diferenciar las disciplinas y saber el comportamiento de los presupuestos formulados en este tipo de proyecto. Se procede a realizar un diagrama de distribución de las categorías en disciplina como se puede ver en la Figura 5-8.

Figura 5-8: Distribución de los subniveles en la columna Disciplina

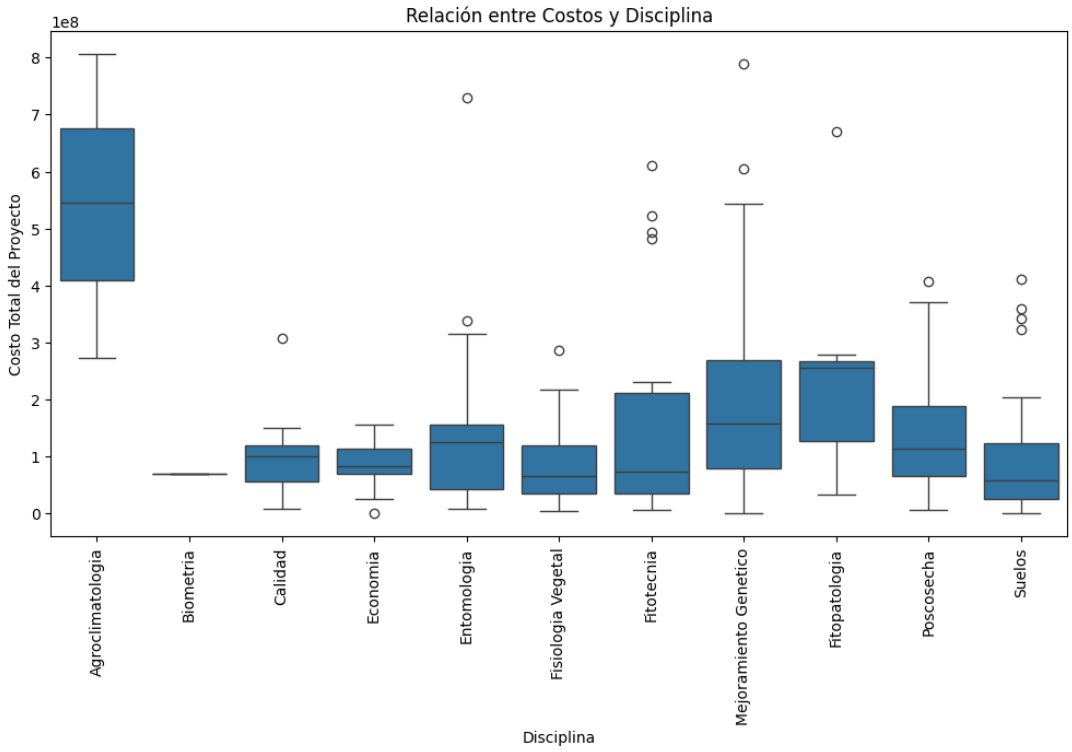


Fuente: Construcción propia

Se logró identificar que existe un desbalanceo notorio entre las disciplinas, en este sentido la disciplina de Mejoramiento Genético tiene mayor cantidad de proyectos, seguido de Poscosecha y Entomología. Muchos proyectos tienen distribuciones bastante similares; pero se puede evidenciar que disciplinas como: Economía, Fitopatología, Agroclimatología y Biometría tienen una cantidad muy limitada de proyectos, lo cual puede afectar el desempeño del modelo, al limitar la capacidad para generalizar y realizar las predicciones.

Se realiza un gráfico tipo boxplot con el fin de visualizar la relación entre los costos y cada una de las disciplinas, se evidencia en la figura 5-9

Figura 5-9: Relación entre Costos y Disciplina

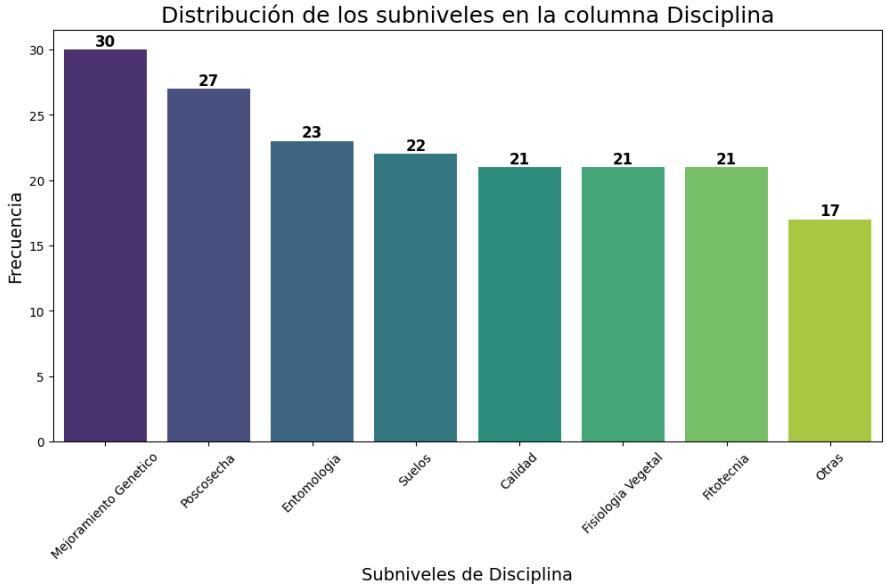


Fuente: Construcción propia

En el caso de Agroclimatología y Biometría los datos son atípicos, porque están muy por encima de la media o no tienen suficientes registros para ser considerados relevantes, por lo cual se decide se decide eliminarlos para no alterar las métricas en la predicción. Con respecto a las disciplinas de Economía y Fitopatología, se decide crear una nueva disciplina combinada llamada "**Otras"** que agrupe ambas disciplinas, reflejado como se ve en la figura 5-10.

Teniendo en cuenta el desbalanceo en la variable disciplina, se evitó realizar un aumento de datos que creara datos sintéticos afectando la naturaleza del caso de estudio. Por otro lado, tampoco se consideró viable limitar la cantidad de proyectos por disciplina a la cifra de 22 o 21 muestras, puesto que el volumen de datos en sí ya es reducido.

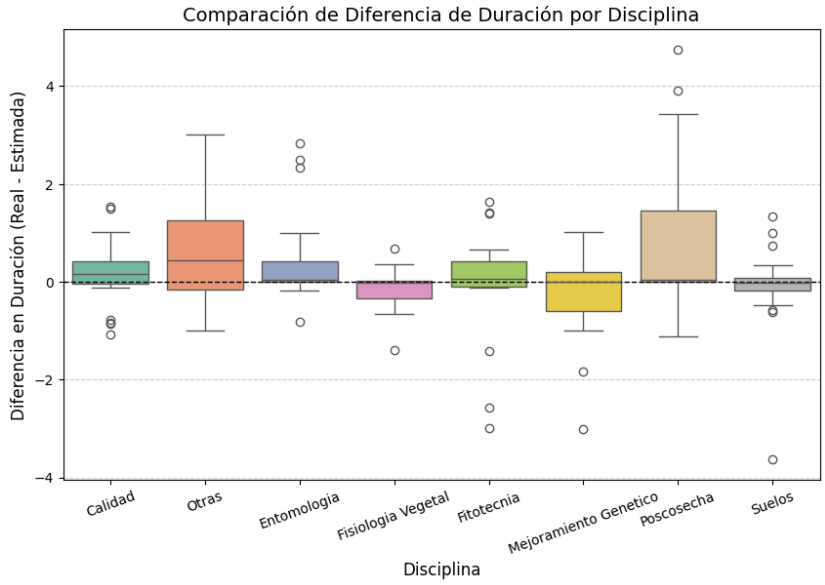
Figura 5-10: Nueva distribución de los subniveles de Disciplina



Fuente: Construcción propia

Se procede a realizar un análisis más a fondo de la causalidad de las disciplinas en la asignación de recursos para el presupuesto formulado. Se mira una comparativa con las duraciones reales y formulados de los proyectos para determinar el comportamiento por disciplina. Esto puede ser evidenciado en la figura 5-11

Figura 5-11: Boxplot comparativo de disciplina con diferencia entre duraciones.



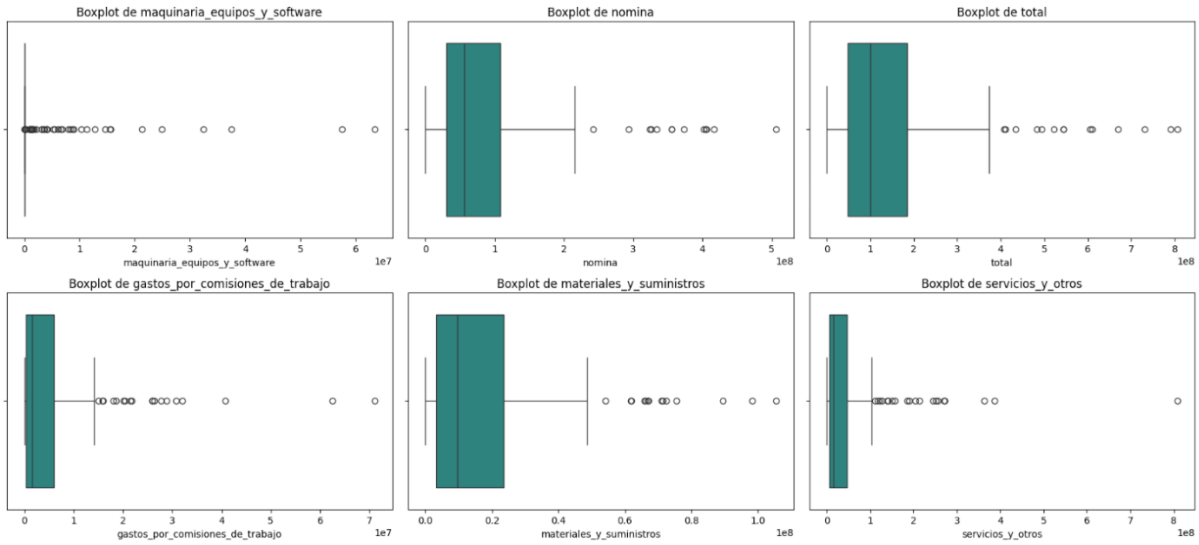
Fuente: Construcción propia

También como se puede evidenciar en la figura 5-11, disciplinas como Poscosecha, Otras y Entomología tienden a durar más de lo planeado, mientras que disciplinas como Suelos y Mejoramiento Genético suelen tener una duración por debajo de lo estimado, esto sugiere que sería beneficioso procurar mejorar la precisión en la planificación en ciertas disciplinas donde la desviación temporal es sistemáticamente más alta.

- **Identificación de valores atípicos:**

Se procede a generar los gráficos tipo boxplot (ver figura 5-12) para analizar la presencia de valores atípicos en las variables numéricas del conjunto de datos, los cuales pueden afectar los análisis posteriores. Se evidencia la alta varianza en los variables y presencia de valores atípicos (outliers) significativos, en especial en los rubros que hacen parte del presupuesto total. Estos pueden representar un mayor trabajo de análisis a futuro o de mayor obtención de información sobre proyectos.

Figura 5-12: Identificación de valores atípicos



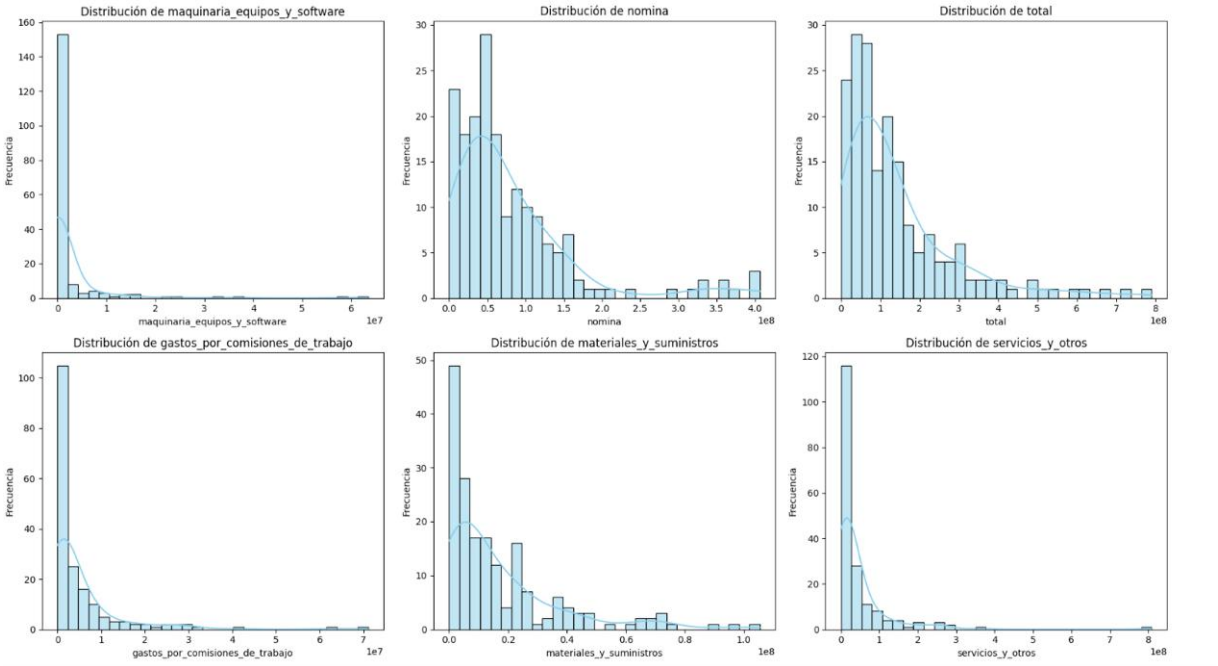
Fuente: Construcción propia

En relación con la duración estimada y la duración ejecutada, la mayoría de las estimaciones son correctas, frente a ello, es importante tener en cuenta que las gráficas demuestran que la tendencia está dirigida a que los proyectos duren más durante la ejecución, realizando un análisis acorde al contexto del trabajo, en su mayoría las

extensiones en plazo de proyectos son realizadas teniendo en cuenta el criterio humano y las necesidades que se presentan durante la ejecución.

- **Distribución de las variables**

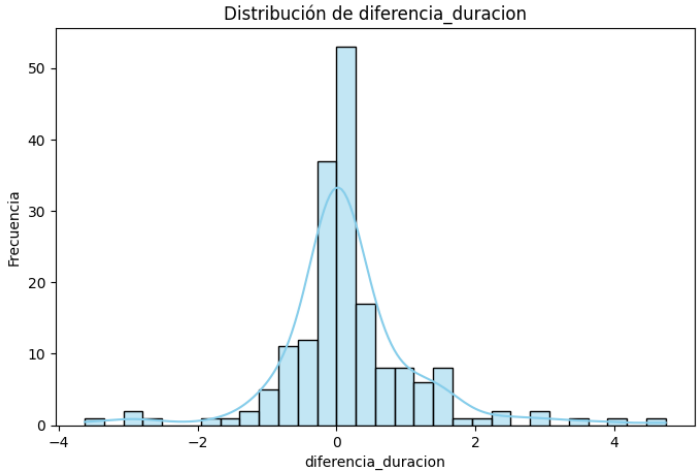
Figura 5-13: Análisis de distribución de las variables



Fuente: Construcción propia

La mayoría de los datos tienden a la izquierda, por lo tanto se observa una distribución que no es normal, esto puede deberse a la limitada cantidad de datos y le presencia de *outliers*. No es el caso de las variables de tiempo, que sí se encuentran bien distribuidas (ver figura 5-14). Con respecto a las variables económicas como la TRM y la inflación, no se muestra un gráfico porque tienden a ser valores repetidos y discretos que dependen más del año de formulación.

Figura 5-14: Distribución de la variable diferencia_duracion

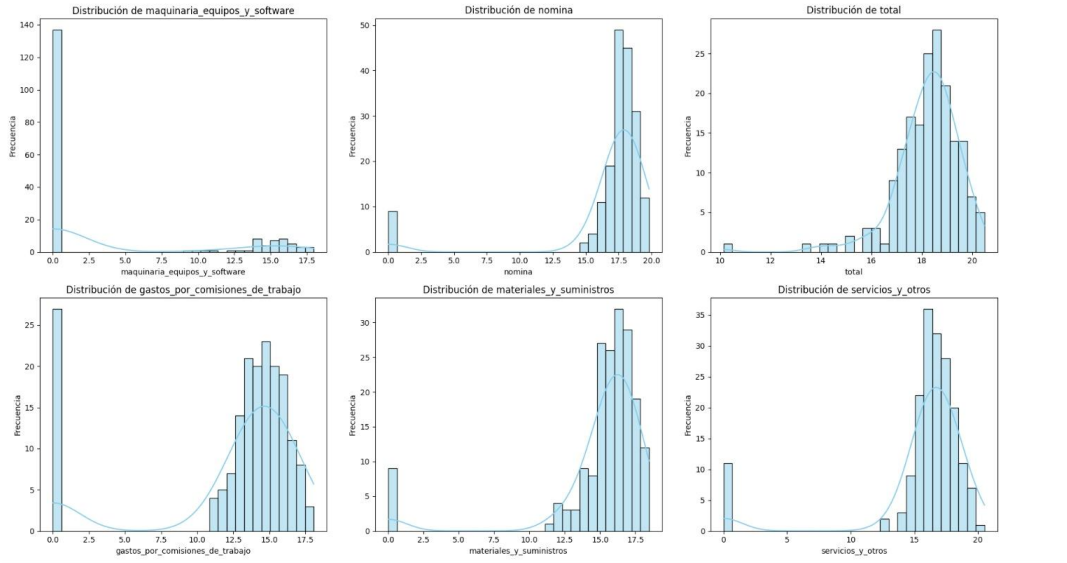


Fuente: Construcción propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se propone aplicar transformaciones que ayuden eliminar los sesgos de los datos. Según (Arrioja, 2021) en problemas de regresión con desbalance de datos es recomendable aplicar transformaciones que permitan reducir el sesgo del modelo hacia los valores más frecuentes y tenderlos a una normal.

Se procede a usar una transformación logarítmica que ayude a reducir el sesgo ya presentado, quedando así las distribuciones (Ver figura 5-15).

Figura 5-15: Distribución de variables posterior a transformación logarítmica.



Fuente: Construcción propia

- **Correlación y elección de variables más relevantes**

Antes de verificar la relevancia de las variables predictoras con el presupuesto total, se procede a escalar el conjunto numérico de datos usando un StandardScaler que sigue esta fórmula:

$$X' = \frac{X - \mu}{\sigma}, Siendo\ \mu\ y\ \sigma\ la\ media\ y\ la\ desviación\ estándar\ de\ la\ variable$$

Se usa esta fórmula con el fin de mantener la forma de una distribución similar a la normal y tener una escala común entre todos los valores (los rubros tienen escalas de millones de pesos, mientras las duraciones son años), quedando el *dataset* como se puede evidenciar en la figura 5-16.

Figura 5-16: Dataset escalado

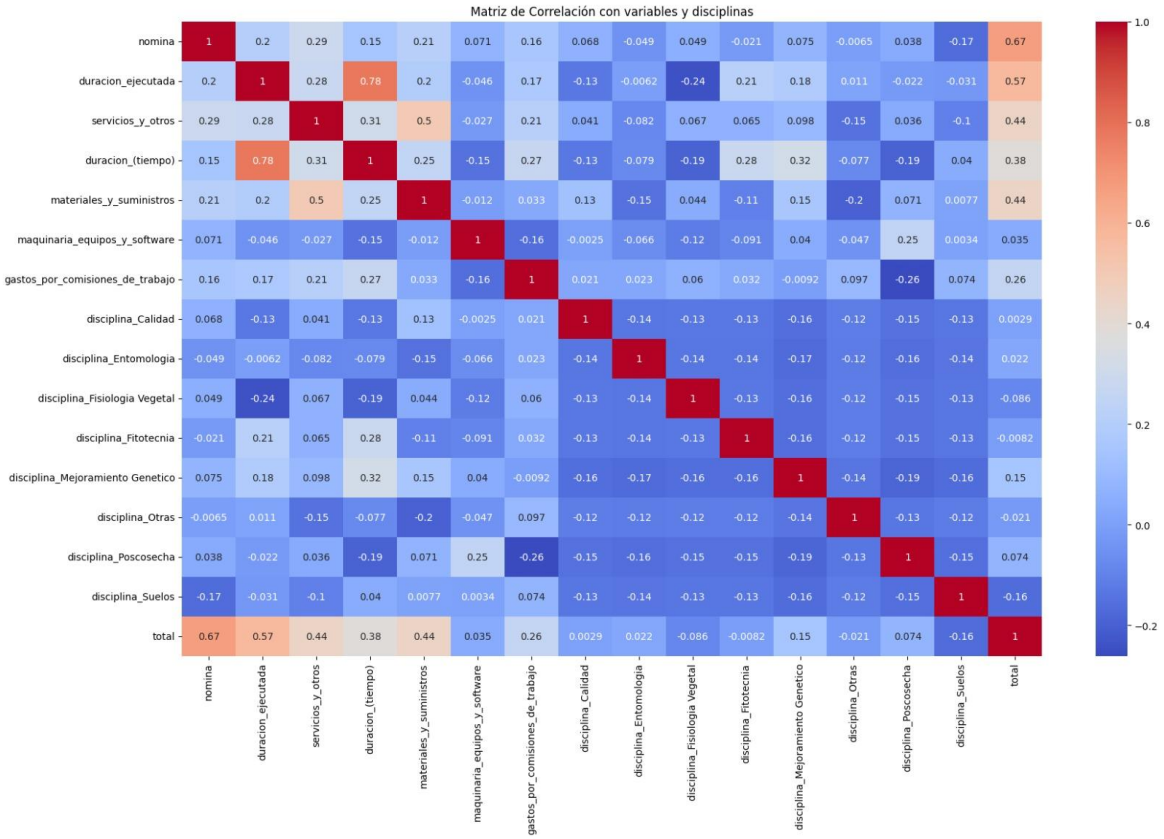
	nomina	duracion_ejecutada	servicios_y_otros	duracion_(tiempo)	materiales_y_suministros
0	0.187948	1.289364	0.114459	0.455502	0.535320
1	0.325585	-0.152554	0.846070	-0.300480	0.473366
2	0.210757	-0.887546	0.187511	-0.242327	0.334946
3	-0.157590	-1.534830	-0.242619	-1.461589	-0.870092
4	0.560174	0.250902	0.358122	0.978873	0.868408
...	...	...	...	...	...
177	0.191317	-0.813871	-0.030169	-0.996370	0.218043
178	0.483005	0.812233	0.615501	1.153330	0.163173
179	0.487909	1.040273	0.740096	0.748202	0.423685
180	0.476311	1.191131	0.780752	1.360740	0.509524
181	-0.385607	-1.219082	-0.664730	1.329726	-0.028398

Fuente: Construcción propia

Para poder seleccionar las variables más representativas para el entrenamiento de los modelos, se decide crear una matriz de correlación numérica. Para la variable **disciplina** se usa un One-hot-encoder, el cual creará tantas columnas como valores tenga la categoría (en este caso ocho) que representen 0 o 1 dependiendo si la disciplina está presente o no en el proyecto.

Se explica de antemano que ninguna de las variables económicas como TRM, valor jornal, entre otras, no fueron incluidas en el modelo final. Su correlación es menor a 0.1 para cada una de estas. Esto puede explicarse a que proyectos con fechas similares tienen las mismas variables económicas. De igual manera, estas variables están “implícitas” en la formulación de los rubros (compras en el exterior, nómina de personal, gastos de viaje, entre otros). También se considera pertinente explicar que la variable **diferencia_duracion** fue descartada del modelo debido a que puede representar falsas relaciones con el total, por ejemplo, un proyecto de 4 años y un proyecto de 3 meses pueden tener el mismo valor en su diferencia de duración real si tuvieron ajustes similares.

Figura 5-17: Matriz de correlación de variables



Fuente: Construcción propia.

A continuación, se presentan análisis extraídos de la anterior matriz:

- nomina (r = 0.67): es la variable con mayor correlación positiva con el total, lo que indica que es un fuerte predictor del valor ejecutado.

- duracion_ejecutada (r = 0.57) y duracion_(tiempo) (r = 0.38): la duración tiene una influencia relevante, lo que sugiere que proyectos más largos suelen implicar mayores costos.
- servicios_y_otros (r = 0.44) y materiales_y_suministros (r = 0.44) también tienen una correlación positiva moderada.

Se puede ver que el total ejecutado es explicado principalmente por la duración y la carga de personal (nómina), junto con ciertos rubros de ejecución directa como servicios y materiales.

Con respecto a las disciplinas, tienen una correlación muy baja con respecto al resto de variables; esto no significa que sean irrelevantes para el modelo**,** pero sí que su efecto no es lineal**,** o que puede estar mediado por otras variables. Se deciden dejar todos los rubros que hacen parte del presupuesto formulado y las categorías de la disciplina para estudiar su efecto causal en el presupuesto total ejecutado.

Creación del modelo

Luego de la preparación de los datos, el *dataset* a trabajar tiene la siguiente estructura:

- **Datos de rubros de formulación:** 7 campos (nomina, materiales_y_suministros, duracion_ejecutada, duracion(tiempo), gastos_por_comisiones_de_trabajo, maquinaria_equipos_y_software, servicios_y_otros,)
- **Datos de Disciplina:** 8 campos por cada uno de los valores de la disciplina.
- **Variable dependiente:** 1 campo (total presupuestado).

Es pertinente recordar que el tipo de algoritmo que se va a aplicar para este trabajo será **regresión** debido a que el interés es predecir el valor del presupuesto total asignado y no una etiqueta referente a esta. Se decide hacer una separación 80/20 para entrenamiento y evaluación, quedando 145 para entrenamiento y 37 para evaluación.

5.4.2 Actividad 2. Implementación del modelo y evaluación de los resultados obtenidos.

Para la selección de los modelos empleados en este trabajo – Regresión Lineal, Ridge, Lasso, ElasticNet, Red Neuronal y Random Forest- se tomó como base la revisión de técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la gestión de proyectos que se desarrolló en la actividad 5.2.1. En particular, se retoman los lineamientos metodológicos propuestos por (Elmousalami, 2021), quien analizó comparativamente técnicas de IA aplicadas a la predicción conceptual de costos en proyectos de construcción.

Dado que el objetivo del estudio referente tiene una estrecha relación con el objetivo de este trabajo de grado, enfocado también en la estimación de presupuestos formulados en etapas tempranas del proyecto, es apropiado adoptar un enfoque metodológico similar, pues esta estrategia permite la técnica más adecuada para el tipo de datos de este trabajo, a la vez que asegura un enfoque robusto, replicable y respaldado por evidencia científica.

(Elmousalami, 2021), resalta que no existe un único modelo óptimo que permita garantizar el mejor desempeño en todos los escenarios, por ello, propone evaluar múltiples enfoques, entre ellos Regresión Lineal, Árboles de Decisión, Máquina de Soporte Vectorial, Gradient Boosting, Bosques Aleatorios, K- Vecinos más Cercanos, Redes Neuronales, Regresión Múltiple y modelos híbridos y técnicas de ensamblado de los cuales trata de validar sus fortalezas individuales e identificar sus limitaciones.

De acuerdo con lo anterior, los modelos lineales brindan una base sólida e interpretable para establecer relaciones directas entre las variables predictoras y el presupuesto total del proyecto, sin embargo, pueden verse afectadas por colinealidades entre variables y outliers en los datos, para contrarrestar ese efecto se decide incorporar técnicas de regularización Ridge, Lasso y ElasticNet, como herramientas que pueden ayudar a mejorar la robustez y la capacidad de generalización del modelo.

Por otro lado, (Elmousalami, 2021), demuestra que si bien las redes neuronales presentan un buen desempeño en la predicción de costos, siendo ideales para capturar patrones complejos y no lineales en los datos, requieren una gran cantidad de datos y un mayor poder computacional.

Finalmente, en el estudio se obtuvo un destacado rendimiento del Random Forest, siendo este reconocido por su robustez para manejar variables irrelevantes, outliers y datos con alta dimensionalidad. De acuerdo con (Elmousalami, 2021)los métodos de ensamblado como Random Forest sobresalen en términos de precisión y generalización en la predicción de costos conceptuales, al combinar múltiples árboles de decisión y reducir el riesgo de sobreajuste inherente a modelos individuales.

En la tabla 5-7 se presentan los algoritmos mencionados anteriormente, los cuales se tendrán en cuenta para el desarrollo de este trabajo.

Tabla 5-7: Algoritmos usados para modelo ML

Algoritmo
Regresión Lineal (LR)
Regularización Ridge
Regularización Lasso
Regularización Elasticnet
Red Neuronal (NN)
Random Forest (RF)

Fuente: Construcción propia

Hiperparámetros

Se implementan grillas de búsqueda de hiperparámetros para los algoritmos a estudiar, a excepción del algoritmo de regresión lineal. Los resultados se pueden evidenciar en la tabla 5-8.

Tabla 5-8: Hiperparámetros a evaluar.

Algoritmo	**Hiperparámetros**	**Valores**
Regularización Ridge	Alpha	Linspace (0.1, 1000, 50)
Regularización Lasso	Alpha	Linspace (0.1, 1000, 50)
Regularización Elasticnet	Alpha L1_ratio	0.1, 1, 10 0.1, 0.5, 0.9
Red Neuronal (NN)	Learning_rate Dropout_rate	0.01, 0.001, 0.0005 0.1, 0.2, 0.3

Random Forest (RF)	N_estimators Max_depth Min_samples_split Min_samples_leaf Max_features Bootstrap	50, 100, 150, 5, 10, 50 2, 5, 10 1, 2, 4 'sqrt', 'log2', None [True, False]

Fuente: Construcción propia

Es importante aclarar que, debido al poco volumen de datos presentes en el conjunto de entrenamiento y evaluación, cada modelo va a ser entrenado usando validación cruzada con el fin de evitar sobreajuste de los datos y optimizar el aprendizaje del modelo.

Después de la fase de entrenamiento, se obtienen los siguientes hiperparámetros para los modelos:

Tabla 5-9: Hiperparámetros ajustados en entrenamiento.

Algoritmo	Hiperparámetros	Valores
Regularización Ridge	Alpha	20,5061
Regularización Lasso	Alpha	0.1
Regularización Elasticnet	Alpha L1_ratio	0.1 0.5
Red Neuronal (NN)	Learning_rate Dropout_rate	0.01 0.2
Random Forest (RF)	N_estimators Max_depth Max_features Min_samples_leaf Bootstrap Min_samples_split	50 5 None 4 False 5

Fuente: Construcción propia

Evaluación de Modelos

Durante el proceso de evaluación de los modelos, se incluye una nueva métrica R^2 conocido como coeficiente de determinación, el cual ayudará a determinar el grado de ajuste de los modelos; es decir, la proporción de la variabilidad que puede ser explicada por el modelo y su variable dependiente.

También se agrega la métrica de R^2 Ajustado con el fin de mitigar el impacto del número de variables seleccionadas. Se obtienen los siguientes resultados:

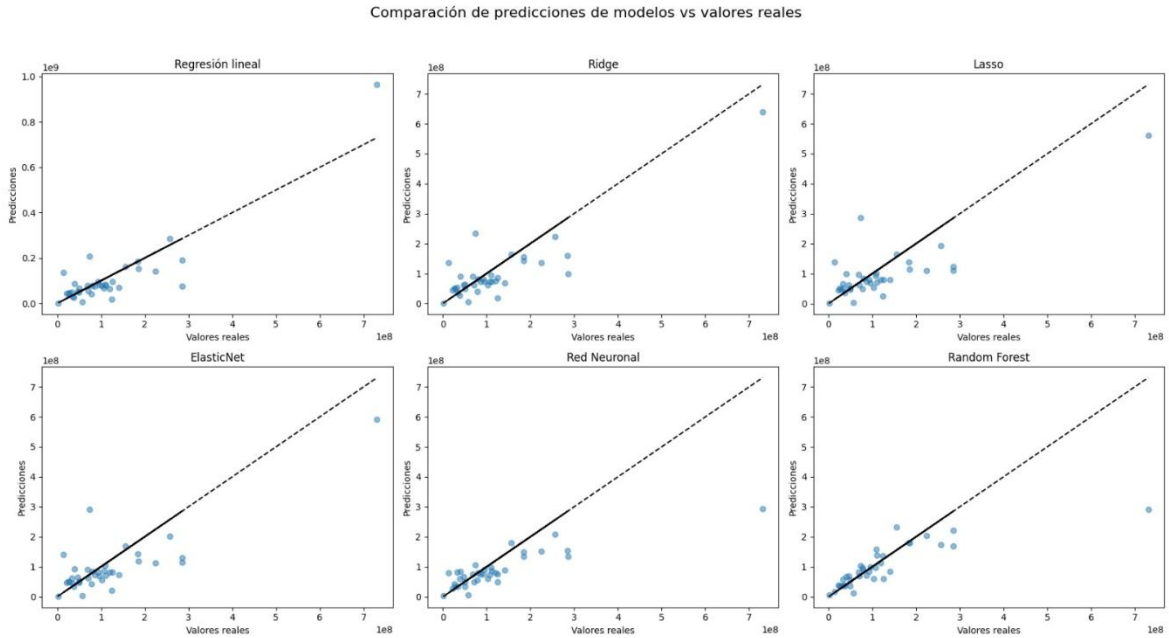
Tabla 5-10: Resultados de Evaluación de modelos.

Algoritmo	MAE (COP)	MSE (COP²)	RMSE (COP)	R²	R² Ajustado
LR	44331852,21	4,93263E+15	70232673,42	0,685290817	0,460498543
Ridge	44046068,47	3,95586E+15	62895615,98	0,74761022	0,567331806
Lasso	50892586,54	5,55149E+15	74508311,8	0,645806602	0,392811318
ElasticNet	49509084,33	5,21267E+15	72198801,08	0,667423938	0,429869608
NN	36717517,42	6,55339E+15	80952985,42	0,581884032	0,283229768
RF	36717517,42	6,55339E+15	80952985,42	0,581884032	0,283229768

Fuente: Construcción propia

A continuación se presenta la comparación de predicciones de cada uno de los modelos frente al conjunto de evaluación (ver figura 5-18).

Figura 5-18: Comparación de predicciones de modelos vs valores reales



Fuente: Construcción propia

- **Regresión Lineal**

  Es un modelo básico que resulta útil cuando se intenta estimar o predecir el comportamiento de una variable salida y unas variables predictoras a través de una relación lineal. Este enfoque se basa en los fundamentos presentados por (James,

Witten, Hastie, & & Tibshirani, 2021). Su propósito es obtener una función que minimice el error cuadrático entre los valores reales y los predichos, lo que permite tanto predicción como interpretación del efecto individual de cada variable sobre la respuesta.

Este modelo obtuvo un desempeño aceptable considerando las posibles relaciones lineales en el modelo, sin embargo, su rendimiento fue inferior al de modelos más flexibles debido probablemente a la transformación que se hizo en las distribuciones. (Ver en la figura comparativa 5-18).

- **Regularización Ridge (L2)**

La penalización L2 se usa sobre la suma de los cuadrados de los coeficientes, lo que causa una magnitud en los coeficientes del modelo sin llevarlas a 0, con el fin de mejorar la generalización del modelo. (James, Witten, Hastie, & & Tibshirani, 2021)

La penalización L2 permitió reducir considerablemente la magnitud de los coeficientes, mejorando las métricas con respecto a la regresión lineal sencilla y mitigando el sobreajuste causado por problemas de multicolinealidad en las variables. (Ver figura 5-18).

- **Regularización Lasso (L1)**

La penalización L1 sobre la suma de los valores absolutos de los coeficientes del modelo, ocasionando un efecto más de selección de variables. (James, Witten, Hastie, & & Tibshirani, 2021)

En el caso de estudio, se nota que el rendimiento de esta regularización fue la peor entre los modelos finales. Una posible causa de esto es la eliminación de coeficientes que pueden ser relevantes para la predicción. (Ver figura 5-18).

- **Regularización ElasticNet (L1 + L2)**

Se combinan ambos tipos de penalizaciones, lo cual resulta útil en casos extremos como variables muy correlacionadas. En el caso de estudio planteado logró una combinación

entre selección de variables y reducción de colinealidad sin destacar más que la regularización L2 (ver figura 5-18).

- **Redes Neuronales**

Inspiradas en el funcionamiento de las neuronas cerebrales, son modelos que buscan capturar relaciones complejas mediante la combinación de conjuntos de neuronas llamadas capas bien conectadas (James, Witten, Hastie, & & Tibshirani, 2021). Se aplican transformaciones que activan ciertos conjuntos de neuronas para devolver una predicción final. Es posible que dado el bajo volumen de datos y la complejidad propuesta en el modelo no fueron suficientes para superar a la regresión lineal, otra causa son las posibles relaciones lineales en el conjunto de datos.

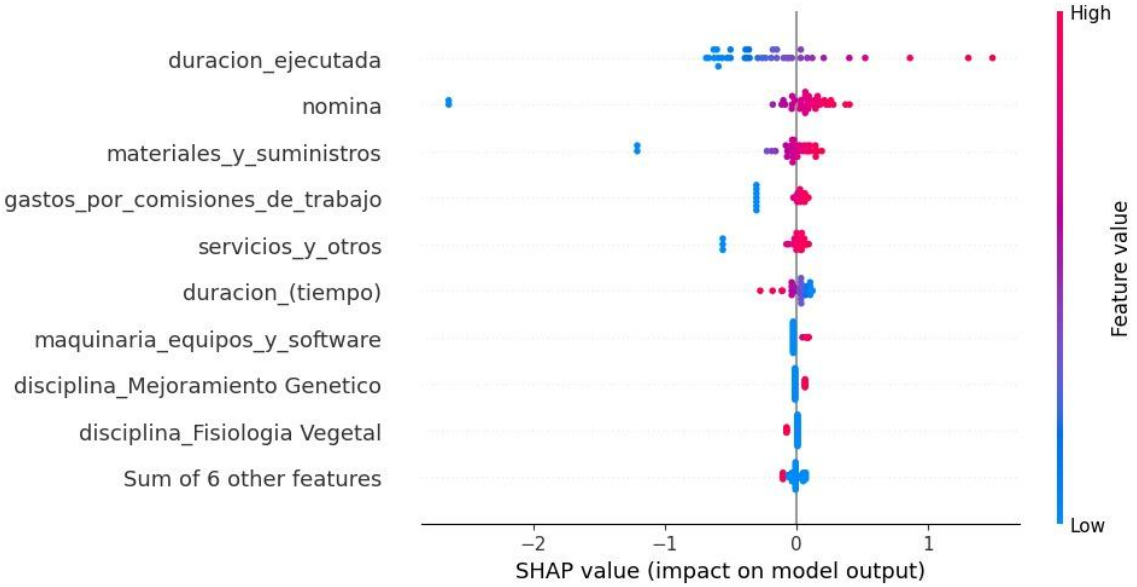
- **Random Forest**

Está basado en la combinación de múltiples árboles de decisión. Cada árbol que hace parte del bosque es entrenado con una muestra aleatoria del conjunto de datos, creando así subconjuntos por cada muestra. Los árboles de decisión se manejan con reglas “si, entonces” y el resultado de Random Forest para regresión será el promedio de las predicciones de todos los árboles. Se considera ideal para relaciones no lineales (James, Witten, Hastie, & & Tibshirani, 2021). Este modelo igualó el desempeño de la red neuronal en las métricas, su potencial pudo verse limitado debido a las relaciones lineales y el conjunto limitado de datos.

Análisis de importancia

Con los modelos analizados, se escoge a la regresión lineal como el modelo que mejor se ajusta y predice el total presupuestado en los proyectos. Se procede a analizar la importancia de las variables en la predicción realizada.

Figura 5-19: Análisis SHAP de las variables independientes.



Fuente: Construcción Propia.

Este gráfico muestra los valores SHAP (SHapley Additive exPlanations) asociados con el modelo de regresión utilizado para estimar el presupuesto gastado para estimar su proyección. Cada punto corresponde a una observación individual (un proyecto). Por lo tanto, la posición horizontal del punto muestra cuánto sumó o restó esa variable particular del valor predicho por el modelo. Las variables están organizadas de arriba hacia abajo en función de su importancia global promedio: nomina, duración_ejecutada y duración_(tiempo) son las más relevantes. Los colores representan los valores de cada variable en cada punto, con rojo indicando valores altos y azul valores bajos.

Se puede evidenciar que el valor de impacto de la variable **duración_ejecutada** es, en promedio, positivo; los valores altos de esta variable tienden a aumentar la predicción del presupuesto de gasto. Además, la variable **nomina** también muestra una contribución significativa, aunque con una dispersión ligeramente mayor. En contraste, ciertas disciplinas como **disciplina_Fisiologia Vegetal** o **disciplina_Mejoramiento Genetico** ocupan un lugar más bajo en la escala de importancia, pero tienen un efecto observable en observaciones particulares. Esto sugiere que, aunque el peso general de las disciplinas es menor en comparación con las variables cuantitativas, su impacto específico puede ser sustancial en ciertos contextos.

Selección recursiva de características (RFE)

La selección de variables mediante RFE permite mejorar la generalización del modelo y eliminar características irrelevantes de forma eficiente (Guyon & Elisseeff, 2003). Tiene como objetivo identificar el subconjunto de variables más relevantes para predecir la variable objetivo, a través de un proceso de eliminación iterativa de aquellas variables que menos aportan al modelo.

Se decide aplicar un RFE para reducir la dimensionalidad del modelo y, posiblemente, aumentar la generalización en el conjunto de datos. Se van a usar dos estimadores iniciales: Random Forest y Linear Regression, con el fin de captar todo tipo de relaciones disponibles en las variables

Se corre un proceso iterativo entre siete variables y las catorce variables que conformaban inicialmente el conjunto de datos. Para el caso del selector con Random Forest se llega a la conclusión que el mejor subconjunto está conformado por las siguientes nueve variables: nomina, duración_ejecutada, duración_(tiempo), materiales_y_suministros, gastos_por_comisiones_de_trabajo, disciplina_Entomologia, disciplina_Fisiología Vegetal, disciplina_Mejoramiento Genético y disciplina_poscosecha como se muestra en la Tabla 5-11

Tabla 5-11: Métricas en el nuevo conjunto de datos optimizado usando RFE con Random Forest.

Algoritmo	MAE (COP)	MSE (COP²)	RMSE (COP)	R²	R² Ajustado
LR	47002040	6,05352E+15	77804380	0,613776	0,337902
Ridge	44448770	4,19231E+15	64748070	0,732524	0,54147
Lasso	50670350	5,44884E+15	73816250	0,652356	0,404039
ElasticNet	43528800	4,19536E+15	64771610	0,73233	0,541136
NN	50371840	7,78752E+15	88246920	0,503144	0,148248
RF	33230420	4,07822E+15	63860950	0,739803	0,553949

Fuente: Construcción propia.

Usando Random Forest como estimador base se nota una clara mejoría y favoritismo con el mismo modelo debido a que las variables fueron seleccionadas para mejorar el rendimiento de este. Es notoria una leve desmejora con respecto a los modelos lineales y

es más razonable asumir que las redes neuronales se están subajustando al bajo volumen de datos.

Tabla 5-12: Métricas en el nuevo conjunto de datos optimizado usando RFE con Linear Regression

Algoritmo	MAE (COP)	MSE (COP²)	RMSE (COP)	R²	R² Ajustado
LR	47221269,03	6,30515E+15	79404962,36	0,59772198	0,310380538
Ridge	47155338,08	6,24499E+15	79025234,7	0,601560301	0,316960515
Lasso	50670351,62	5,44884E+15	73816249,49	0,652355818	0,404038545
ElasticNet	43403207,41	4,18412E+15	64684797,48	0,733046597	0,542365596
NN	45896587,16	6,84865E+15	82756587,03	0,563045558	0,250935243
RF	34455321,1	4,4064E+15	66380698,84	0,718865169	0,518054575

Fuente: Construcción propia.

Al usar Linear Regression como base del RFE se están seleccionando las variables que tienen mayor correlación lineal directa con la variable objetivo. Se puede evidenciar que variables como nomina y duración_ejecutada tienen una relación fuerte con la predicción del presupuesto. Al aplicar ambas regularizaciones es evidente una mejoría en la selección de variables y mitigación de multicolinealidad. De igual forma Random Forest sigue siendo una elección consistente en ambos escenarios.

Al final, Random Forest se posiciona como el modelo con el rendimiento óptimo en todos los escenarios planteados, siendo capaz de analizar las relaciones lineales y no lineales de los datos y adaptándose a la posible linealidad que existe entre los rubros formulados y el presupuesto total ejecutado, dándole fuerza a los argumentos presentados por (Elmousalami, 2021).

Limitantes

De acuerdo con los resultados obtenidos, si bien gracias a la integración de técnicas de inteligencia artificial con la gestión de proyectos, se puede lograr predecir el presupuesto total que requiere un proyecto, en este caso, proyectos de investigación relacionados con el ciclo de vida del café, es importante tener en cuenta las limitaciones que pueden presentarse para su aplicación en otros sectores:

- Random Forest obtuvo el mejor rendimiento bajo las condiciones existentes en el contexto de los proyectos de investigación que se realizan en la entidad de estudio, no obstante, esto no garantiza su superioridad también en otros de los sectores. Es fundamental reconocer que el desempeño de un modelo depende de la estructura de los datos, la calidad de las variables y las relaciones subyacentes entre ellas, considerando que así se tengan las mismas variables pueden no tener el mismo poder de predicción.

  Así como en este caso, se contó con una cantidad limitada de datos históricos uno de los puntos claves, es contar con mayor cantidad de datos con el fin de que el modelo pueda identificar patrones y realizar mejores generalizaciones.

- Es importante reconocer que complejidad del modelo no siempre significa mejor rendimiento, en este caso, la red neuronal a pesar de sus bondades para la predicción presentó un bajo desempeño, para esto, es vital inicialmente realizar un análisis para reconocer abundancia de los datos, valores atípicos, distribuciones y demás aspectos relevantes de las variables correspondientes al sector donde se desee implementar la solución.

- Las variables aportan información de gran valor, en este sentido, las que se emplearon en este trabajo de grado están ligadas con la formulación de presupuesto de proyectos de investigación vinculado a unas disciplinas respectivas, por lo anterior, las variables a seleccionar dependen directamente del sector en el cual se desea aplicar el modelo, y por ello no es lo mismo ni tiene la misma importancia una variable perteneciente a la formulación de proyectos de investigación que a proyectos de construcción por ejemplo.

- El hecho de entrenar un modelo con datos altamente específicos de un sector involucra que el modelo aprenda a generalizar bajo este contexto, pero lo haga erróneamente en un contexto totalmente diferente.
-
- Finalmente, dependiendo del sector las métricas pueden ser interpretadas de diversas formas, es decir, mientras un MAE es óptimo para un proyecto de

investigación, puede ser desorbitante para proyectos en otros sectores, dependiendo esta interpretación directamente del contexto y de la dimensionalidad en el presupuesto formulado.

6. Conclusiones y Trabajo Futuro

6.1 Conclusiones

La predicción para asignación de presupuestos totales de proyectos es un problema de gran relevancia para optimizar recursos y evitar contratiempos en la exitosa ejecución de proyectos. En este caso de estudio se modelaron y evaluaron los factores que afectan el presupuesto en proyectos, usando una mezcla de variables cuantitativas (como tiempo, nómina, materiales, entre otros) y cualitativas (como disciplina o categoría del proyecto). Se desarrolló un modelo para la predicción de presupuestos totales de proyectos a partir de la implementación de tres modelos de regresión y tres métodos de regularización.

Los resultados se compararon usando diferentes métricas de evaluación del rendimiento, incluso con la limitante de la cantidad de datos disponibles se obtuvieron resultados satisfactorios dado el contexto del caso de estudio. Random Forest se consolidó como el modelo más competitivo, mostrando adaptabilidad y buena capacidad predictiva bajo diversos escenarios de selección de variables. También es relevante destacar el rendimiento de los modelos lineales como lo son la regresión lineal y sus regularizaciones, lo cual da a entender la existencia de una relación lineal fuerte entre algunas variables explicativas como la nómina y la duración ejecutada y la variable objetivo.

En este trabajo se hizo también un análisis de desbalanceo de datos el cual fue mitigado a través de una transformación logarítmica, la cual es una técnica valida y recomendada en problemas de variables con alta asimetría. Es posible que esta transformación pudiera haber afectado ciertas relaciones existentes en las variables.

Los resultados obtenidos muestran la utilidad de técnicas de analítica de datos y aprendizaje de máquinas en la formulación eficaz y eficiente de proyectos, considerando los rubros específicos y el tiempo estimado del proyecto, permitiendo anticipar con mayor

precisión las necesidades a nivel presupuestal, apuntando hacia la optimización del capital disponible para su ejecución y procurando una toma de decisiones informada y más estratégica.

Finalmente, se pudo evidenciar que la convergencia entre las técnicas de inteligencia artificial, la analítica de datos y la gestión de recursos en proyectos más que ser una tendencia a futuro, se ha transformado en una necesidad para la gestión efectiva de proyectos.

6.2 Trabajo Futuro

A partir de los hallazgos en este caso de estudio, se pueden analizar y evidenciar varias formas de trabajo futuro dirigidas a realizar un análisis más profundo.

Un punto importante es analizar la parte causal del efecto de la disciplina, y para ello se recomienda usar métodos como Propensity Score Matching o modelos con variables que ayudan a separar el impacto real de la disciplina excluyendo variables como duración o rubros.

Es importante tratar de obtener mayor cantidad de datos que ayuden a generalizar mejor la información y captar relaciones no lineales entre las variables independientes y la variable objetivo, también en pro de reducir la dimensionalidad de los modelos sin eliminar la causalidad del tipo de proyectos a la hora de tomar decisiones en la asignación de recursos. Adicionalmente, este proceso ayudará a evitar transformaciones de desbalanceo que puedan afectar relaciones existentes en las variables.

También es recomendable hacer un análisis exhaustivo de patrones que ayuden a predecir no sólo la asignación de recursos totales en el presupuesto, sino también la

distribución entre los rubros que lo conforman, considerando también técnicas para mitigar las limitaciones en la obtención de los datos y la cantidad disponible.

Finalmente, se debería crear otro modelo de predicción aplicado a entregar un valor aproximado de la duración real de los proyectos ejecutados, ya que para fines prácticos esta variable no puede ser ingresada al modelo.

Bibliografía

Amin Ashtari, M., Ansari, R., Hassannayebi, E., & Jeong, J. (2022). Cost Overrun Risk Assessment and Prediction in Construction Projects: A Bayesian Network Classifier Approach. *Buildings* .

Antebi, L. (2021). What is Artificial Intelligence? *Artificial Intelligence and National Security in Israel*, 31-40.

Arrioja, N. (2021). *Medium*. Obtenido de Cómo actuar ante el desbalance en regresión: https://medium.com/@nicolasarrioja/c%C3%B3mo-actuar-ante-el-desbalance-en-regresi%C3%B3n-e7a0e87d6ff2

Auth, G., Jokisch, O., & Durk, C. (2019). Revisiting automated project management in the digital age: A survey of AI approaches. *The Online Journal of Applied Knowledge Management (OJAKM)*, 27-39. doi:doi:https://doi.org/10.36965/OJAKM.2019.7(1)27-39

Bahroun, Z., Tanash, M., & Mohamad Alnajar, R. A. (2023). Artificial Intelligence applications in project scheduling: A systematic review, bibliometric analysis, and prospects for future researh. *Managememnt Systems in product Engineering*, 144-161.

Bushuyev, S., Bushuyev, D., Bushuyeva, V., Bushuyeva, N., & Tykchonovych, Y. (2024). Strategic project management development under influence or artificial intelligence. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management*. doi:https://doi.org/10.20998/2413-3000.2024.8.1

Carrión Rosende, I., & Berasategi Vitoria, I. (2010). *Guía para la elaboración de proyectos.* Documento técnico, Koalifikazioen eta Lanbide Heziketaren Euskal Instituoa.

El Khatib, M., & Al Falasi, A. (2021). Effects of Artificial Intelligence on Decision Making in Project Management. *American Journal of Industrial and Business Management*, 251-260. doi: 10.4236/ajibm.2021.113016.

Elkholosy, H., Ead, R., Hammad, A., & AbouRizk, S. (2022). Data mining for forecasting labor resource requirements: a case study of project management staffing requirements. *International Journal of Construction Management*.

Elmousalami, H. H. (2021). Comparison of Artificial Intelligence Techniques for Project Conceptual Cost Prediction: A Case Studio and Comparative Analysis. *IEEE: Transactions on Engineering Management*, 183-196.

Gido, J., & Clements, J. P. (2012). Administración exitosa de proyectos. *Cengage Learning Editores S.A*.

Gil, D. (2022). Metodología para predecir el desempeño estudiantil en cursos universitarios virtuales a distancia. Tesis de doctorado. *Universidad Nacional de Colombia*.

Gopalakrishnan Nair, T., & Al Falasi, A. (2021). Impact Analysis of Allocation of Resources by Project Manager on Success of Software Projects. *International Conference on Data Mining and Computer Engineering (ICDMCE)*, 191-195.

Guyon, I., & Elisseeff, A. (2003). An introduction to variable and feature selection. . *Journal of Machine Learning Research*, 1157-1182.

Hammoody, O., Al-Somaydaii, J. A., Al-Zwainy, F. M., & Hayder, G. (2022). Forecasting And Determining Of Cost Performance Index Of Tunnels Projects Using Artificial Neural Networks. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 18*. doi::10.22337/2587-9618-2022-18-1-51-60

Hofmann, P., Johnk, J., Protschky, D., & Urbach, N. (2020). Developing Purposeful AI Use Cases – A Structured Method and Its Application in Project Management. *WI2020 Zentrale Tracks*, 33-49. doi:doi:https://doi.org/10.30844/wi_2020_a3-hofmann

James, G., Witten, D., Hastie, T., & & Tibshirani, R. (2021). *An Introduction to Statistical Learning: With Applications in R*. Obtenido de An Introduction to Statistical Learning: https://www.statlearning.com/

Joshi, H. (2024). Artificial Intelligence in Project Management: A Study of The Role of Ai-Powered Chatbots in Project Stakeholder Engagement. *Indian Journal of Software Engineering and Project Management (IJSEPM)*, 21-26. doi:doi:10.54105/ijsepm.B9022.04010124

Joshi, H. (2024). Artificial Intelligence in Project Management: A Study of The Role of Ai-Powered Chatbots in Project Stakeholder Engagement. *Indian Journal of Software Engineering and Project Management (IJSEPM)*, 21-26. doi:10.54105/ijsepm.B9022.04010124

Karki, S., & Hadikusumo, B. (2021). Machine learning for the identification of competent project managers for construction projects in Nepal. *Construction Innovation*.

Kitchenham, B. (2004). Procedures for undertaking systematic reviews. *NICTA Technical Report 0400011T.1 Keele University, UK.*

Kusonkhum, W., Srinavin, K., Leungbootnak, N., & Aksor, P. (s.f.). Government Construction Project Budget Prediction Using Machine Learning. *Journal of Advances in Information Technology, 13*. doi:10.12720/jait.13.1.29-35

L, Z., & Huang, L. (2022). A Resource Scheduling Method for Enterprise Management Based on Artificial Intelligence Deep Learning. *Mobile Information Systems*.

Larson, E. W., & Gray, C. F. (2014). *Project management: The managerial process (6th ed).* McGraw- Hill Education.

Mariani, C., & Mancini, M. (2022). Artificial Intelligence adoption in project management: are we still far from practical implementation? *IPMA PUBLICATIONS*, 34-47.

McCarthy. (2007). What is artifcial intelligence? (S. University, Ed.)

Mir, M., Dipu Kabir, H., Nasirzadeh, F., & Khosravi, A. (2021). Neural network-based interval forecasting of construction material prices. *39*, Journal of Building Engineering. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102288

Munir, M. (2019). *How Artificial Intelligence can help Project Manager.* Global Journal of Management and Business Research: A Administration and Management.

Odeh, M. (2023). The Role of Artificial Intelligence in Project Management. *IEEE Engineering Management*.

Okon Ndem Eyibio, C. O. (2020). Effective resource budgeting as a tool for project management. *Asian Journal of Business and Management*.

Page, M., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., & Mulrow, C. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *372*. doi:DOI: 10.1136/bmj.n71

Pérez, J. (2019). Revisión sistemática de la literatura en ingeniería. 2da edición. *Colección Ciencia y Tecnología. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.*

Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos.* Guía del PMBOK.

Project Management Institute Inc. (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos.* Newtown Square, Pensilvania: PMI Publications.

Qureshi. (2022). Resource management: Process advantages and disadvantages. *Journal of Stock & Forex Trading, 9:203*. doi:DOI: 10.4172/2168-9458.22.9.203.

Radujković, M., & Sjekavica, M. (2017). Project management success factors. *Procedia Engineering 196*, 592-606.

Rusell, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial intelligence: A modern approach.* Prentice Hall.

Santos, J. I., Pereda, M., Ahedo, V., & Galán, J. M. (2023). Explainable Machine Learning for Project Management Control. *Computers & Industrial Engineering*.

Silva Nobre, R. M. (2020). *How Artificial Intelligence Can Provide Support in Project Resource Management.* Instituto Universitario de Lisboa.

Tayyab Zia, M., Nadim, M., Ahmad Khan, M., Akram, N., & Atta, F. (2024). The Role and Impact of Artificial Intelligence on Project Management. *The Asian Bulletin of Big Data Management*, 178-185. doi:https://doi.org/10.62019/abbdm.v4i02.160178

Vanegas, F. (2016). *Conoce el Clima óptimo para un cultivo de café*. Obtenido de Coffee Media: https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2016/08/31/conoce-el-clima-optimo-para-un-cultivo-de-cafe/

Vasiliev, V., Mayborodin, A., & Kramarenko, X. (2020). Machine Learning Technology as a Solution of the Resource Assignment Spread Issue in Research and Development Projects. *International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS)*.

Wu, L., Ji, W., Feng, B., & Hermann, U. A. (2021). Intelligent data-driven approach for enhancing preliminary resource planning in industrial construction. *Automation in Construction, 130*.

Zabala Vargas, S., Jaimes Quintanilla, M., & Barrera, M. (2023). Big Data, Data Science and Artificial Intelligence for Project Management in the Architecture, Engineering, and Construction Industry: A Systematic Revie. *Buildings*. doi:doi:https://doi.org/10.3390/buildings13122944