Analytic Hierarchy Process (AHP) como proceso decisional frente al riesgo competitivo de partes interesadas en proyectos de construcción, caso Cartama-Estructurar S.A.S

I.C. CESAR AUGUSTO ARDILA GUTIÉRREZ, ESP.

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Arquitectura

Área Curricular Construcción y Hábitat

Medellín, Colombia

2024

Analytic Hierarchy Process (AHP) como proceso decisional frente al riesgo competitivo de partes interesadas en proyectos de construcción, caso Cartama-Estructurar S.A.S

I.C. CESAR AUGUSTO ARDILA GUTIÉRREZ, ESP.

Trabajo final de Maestría – Modalidad de Profundización presentado como requisito parcial para optar al título de: **Magister en Construcción**

Director:

A.C. Carlos Andrés Rúa Machado, MBA, PMP®

Grupo de investigación Hermes 2587
IGC Gestión & Innovación de la construcción

Línea de Investigación:
Innovación y Optimización de la Gestión

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Arquitectura, Escuela de Construcción
Área Curricular de Construcción y Hábitat
Medellín, Colombia

2024

Deseo dedicar este esfuerzo académico a la preciada memoria de mi padre, cuya profunda influencia ha constituido la base de mi carrera en la industria de la construcción. Su sagacidad y compromiso inquebrantable no solo definieron el rumbo que sigo, sino que también me han impulsado a transmitir este fervor a una generación posterior de profesionales.

Agradezco profundamente a mi esposa Alejandra, cuyo amor y apoyo inquebrantables me han brindado una fuente de fortaleza duradera. Además, expreso mi más sincero agradecimiento a mi querido hijo Martín, cuya llegada a nuestras vidas coincidió con el progreso de este proyecto, lo que me inculcó la fortaleza y la inspiración esenciales para avanzar y alcanzar este objetivo.

Este logro no se puede atribuir únicamente a mis esfuerzos, sino que representa el amor y el aliento colectivos de mi familia, que ha sido mi fuente de apoyo más importante en cada fase de este esfuerzo.

Agradecimientos

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a la **Universidad Nacional de Colombia** por brindarme un entorno de excelencia académica propicio para la construcción de País y el avance académico. Su dedicación inquebrantable a la educación y el cultivo de profesionales constituye un elemento fundamental en el progreso de nuestra sociedad.

Extiendo mi más sincero agradecimiento al **profesor Carlos Rúa**, cuya tutoría y transferencia de conocimientos han sido fundamentales para la ejecución exitosa de este proyecto. Su apoyo y dirección me han permitido dedicarme a mi trabajo de una manera apropiada y eficaz, algo por lo que estoy sinceramente agradecido.

A mi **esposa Alejandra y a mi hijo Martín** les debo una expresión de agradecimiento excepcional. Han soportado largos períodos de esfuerzo académico a mi lado con una paciencia y una comprensión extraordinarias. Su sacrificio al optar por quedarse conmigo en lugar de dedicarse a actividades de ocio es un testimonio de su amor y apoyo inquebrantables. Sin su presencia, este logro no habría sido alcanzable.

Para concluir, quiero rendir homenaje a **mi padre**, cuya inspiración y legado me han motivado constantemente. Su partida durante el desarrollo de este proyecto agregó un desafío importante, pero su memoria y sus enseñanzas me han dotado de la fortaleza necesaria para perseverar.

RESUMEN: Analytic Hierarchy Process (AHP) como proceso decisional frente al riesgo competitivo de partes interesadas en proyectos de construcción, caso Cartama-Estructurar S.A.S

La industria de la construcción enfrenta desafíos significativos en términos de productividad y eficiencia, presentando un crecimiento anual del 1% en comparación con el 3.6% del sector manufacturero (McKinsey Global Institute, 2017). Este rezago ha impulsado la necesidad de investigar y proponer soluciones que mejoren la competitividad y capacidad productiva del sector (Bonilla et al., 2018). La tesis final de maestría propone la creación de un marco metodológico destinado a mejorar la ingeniería de valor en los proyectos de construcción, facilitando así la toma de decisiones informadas y aliviando el riesgo competitivo del cliente a través de una mayor eficiencia operativa. Para lograr este objetivo general, se han delineado tres objetivos específicos para orientar los esfuerzos de investigación.

El objetivo específico inicial consiste en la identificación de las principales fuentes relacionadas con la productividad operativa y la gestión del riesgo competitivo. Este análisis evaluativo permitió establecer el estado actual de los conocimientos y evaluar la pertinencia de las herramientas de toma de decisiones en el sector de la construcción, proporcionando así una base sólida para la formulación del marco metodológico.

El objetivo posterior busca correlacionar, los modelos y las prácticas de gestión que se emplean para aliviar el riesgo competitivo y mejorar la eficiencia operativa. Mediante una investigación exhaustiva y un análisis comparativo de las diversas estrategias de gestión y su asociación con las técnicas de análisis de la toma de decisiones, se identificaron prácticas ejemplares que podrían asimilarse al marco propuesto, aumentando así su eficacia para apoyar las decisiones fundamentales en la gestión de proyectos.

El objetivo final propone un estudio de caso que emplea una metodología de análisis de decisiones en un escenario de decisión para definir la distribución de columnas más eficientes de un sistema estructural para una planta industrial. Este caso de estudio ilustró

la aplicación pragmática del marco metodológico y demostró cómo una técnica adecuada de toma de decisiones puede mitigar los riesgos derivados de las deficiencias de información y optimizar el proceso de toma de decisiones.

En resumen, el estudio cumple su objetivo general al diseñar un marco metodológico integral que sintetiza las herramientas de análisis de la toma de decisiones con las Ingeniería de valor, mejorando así la productividad y mitigando el riesgo competitivo en los proyectos de construcción.

Palabras clave: (Productividad – Gestión de riesgo – Análisis Jerárquico Decisional (AHP) – Ingeniería de Valor).

ABSTRACT: Analytic Hierarchy Process (AHP) as a decision-making process in the face of competitive risk of stakeholders in construction projects, case of Cartama-Estructurar S.A.S.

The construction industry faces significant challenges in terms of productivity and efficiency, presenting an annual growth of 1% compared to 3.6% for the manufacturing sector (McKinsey Global Institute, 2017). This lag has driven the need to research and propose solutions that improve the competitiveness and productive capacity of the sector (Bonilla et al., 2018). The final master's thesis emphasizes the creation of a methodological framework aimed at improving productivity in construction projects, thus facilitating informed decision-making and alleviating the client's competitive risk through greater operational efficiency. To achieve this general objective, three specific objectives have been outlined to guide research efforts.

The initial specific objective consisted of identifying the main sources related to operational productivity and competitive risk management. This evaluative analysis allowed to establish the current state of knowledge and to assess the relevance of decision-making tools in the construction sector, thus providing a solid basis for the formulation of the methodological framework.

The subsequent objective sought to correlate the methodologies, models and management practices that are employed to alleviate competitive risk and improve operational efficiency. Through an exhaustive investigation and comparative analysis of the various management strategies and their association with decision-making analysis techniques, exemplary practices were identified that could be assimilated to the proposed framework, thus increasing its effectiveness in supporting fundamental decisions in project management.

The final objective was to propose a case study that employed a decision analysis methodology in a decision scenario to define the construction of a structural system for an industrial plant. This case illustrated the pragmatic application of the methodological

framework and demonstrated how an appropriate decision-making technique can mitigate risks arising from information deficiencies and optimize the decision-making process.

In summary, the study meets its overall objective by designing a comprehensive methodological framework that synthesizes decision-making analysis tools with management practices, thereby improving productivity and mitigating competitive risk in construction projects.

Keywords: (Productivity – Risk management – Hierarchical Decisional Analysis (AHP) – Value Engineering).

Contenido

Pág.

RESUMEN ..... **VI**

ABSTRACT ..... **VIII**

LISTA DE ILUSTRACIONES ..... **XIII**

LISTA DE TABLAS E IMAGENES ..... **XIV**

LISTA DE ABREVIATURAS ..... **XV**

1. INTRODUCCIÓN **1**

2. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO **7**
2.1 Descripción del Problema 7
2.1.1 Justificación 12
2.2 Pregunta de Investigación 14
2.3 Objetivo General 14
2.3.1 Objetivos Específicos 14
2.4 Hipótesis 14
3.1 Internacional 15
3.2 Nacional 19

4. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO **22**
4.1. Tipo de Investigación 22
4.2 Juicio de expertos como apoyo al estudio. 24
4.3 Método y Técnica de recolección de datos 25

5. MAPEO DE LITERATURA (*mapping review*) **31**
5.1 Fase de Planificación 32
Pregunta emergente: 32
5.1.1 La cadena de búsqueda: 32
5.1.2 Selección de fuente: 33
5.1.3 definición de Criterios de Inclusión: 33
5.1.4 Evaluación de la calidad: 34
5.1.6 Extracción de Datos: 36
5.2 Etapa de cribado: 36
5.3 Datos de Resultado y análisis: 37
5.3.1 Extracción y análisis de datos 38
5.3.2 Atributos de Investigación: 45
5.4 Resultados y Discusión: 46
5.4.1 A partir de los objetivos de estudio PC1 47
5.4.2 A partir de las características de Investigación PC2 49
5.5 Respuesta a la pregunta de investigación RQ1: 52
5.5.1 Productividad: 52
5.5.2 Gestión de Riesgo: 52
5.5.3 Análisis decisional: 52

6. RELACIONAMIENTO DE MODELOS. 54
6.1 Métodos, modelos y prácticas gerenciales aplicadas para la mitigación del riesgo competitivo y la eficiencia operativa de los sistemas de construcción. 54
6.1.1. Lean Construction 55
6.1.2 Building Information Modeling (BIM) 56
6.1.3 Gestión de la Cadena de Suministro (SCM) 56
6.1. 4. Gestión de Riesgos 57
6.1.5 Six Sigma 57
6.1.6 Benchmarking 58
6.1.7 Value Engineering (Ingeniería de Valor) (Kelley, J. C. et al. 1992). 58
6.1.8 Integrated Project Delivery (IPD) (AIA. 2007) 59
6.2 Métodos de Análisis Decisional. 60
6.2.1 Métodos Destacados 61
6.3 Relacionamiento de modelos gerenciales y métodos de análisis decisional 62
6.4 Elección del método de análisis decisional AHP y modelo de gestión Value Engineering (VE) para el caso de estudio de esta investigación. 67

7. CASO DE ESTUDIO Y APLICACIÓN 70
7.1 Contexto: 70
7.2 Descripción del proyecto Cartama – planta de empaque de aguacates hass. 71
7.3 Papel de la Empresa Constructora en el Ciclo de Vida del Proyecto 74
7.4 Caso de Estudio del proyecto Cartama entre la fase de anteproyecto e iniciación: 79
7.5 Conceptualización del método AHP para el caso de estudio dentro de entornos VUCA: 80
7.5.1 Aplicación de AHP en el caso de estudio 82
7.2 Método 83
7.3 Análisis Jerárquico (AHP) 83
7.3.1 Proceso analítico del Método AHP: 86
7.4 Caso de estudio: 86
7.5 Identificación de Expertos: 91
7.6 Identificación de criterios: 92
7.7 Desarrollo del Modelo AHP: 95
7.7.1 Análisis de consistencia 95
7.7.2 Matriz de comparación de criterios 95
7.7.3 Media Geométrica en AHP 98
7.7.4 Comparación de pares 99
7.7.5 Asignación de ponderaciones 100
7.7.6 La priorización 101
7.7.7 Comparación de los Pasos del Caso de Estudio con el Método AHP: 101
7.7.8 Síntesis de la Estructura gráfica del método AHP, aplicado al caso de Estudio – Cartama 103
7.8 Resultado 103

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 105
8.1 Conclusiones Objetivo 1 – Mapeo Sistemático: 105
8.2 Conclusiones Objetivo 2: Relacionamiento de Modelos gerenciales y Métodos Decisionales 106
8.3 Conclusiones Objetivo 3 – Caso de Estudio: 106
8.4 Recomendaciones 107

9. Marco decisional integrando AHP con el concepto de Ingeniería de Valor en Estructurar S.A.S. 109
1. Introducción al Marco de Gestión Decisional 109
2. Conceptos Clave 110
3. Fases del Marco de Ingeniería de Valor con AHP 112
4. Conclusiones 114

BIBLIOGRAFIA 119

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: *Tasa de Crecimiento compuesta anual de la productividad laboral del sector construcción, manufactura y de la economía mundial, 1995-2015.* 1
Ilustración 2: *Estatus de gestión de riesgos de diferentes industrias* 2
Ilustración 3: *Mapa Conceptual del acrónimo VUCA* 7
Ilustración 4: *Productividad laboral en la construcción* 11
Ilustración 5: *Potencial mejora de la productividad global a partir de la implementación de mejores prácticas* 12
Ilustración 6: *Crecimiento promedio de la productividad laboral en las últimas décadas* 15
Ilustración 7: *Acción en áreas que pueden aumentar la productividad* 16
Ilustración 8: *Balance de mejores prácticas, Colombia frente al mundo* 19
Ilustración 9: *Demoras y Sobrecostos en la construcción en Colombia* 20
Ilustración 10: *Flujograma de Objetivo Especifico 1.* 26
Ilustración 11: *Flujograma del objetivo 2* 27
Ilustración 12: *flujograma del Objetivo 3.* 29
Ilustración 13: *Flujograma de Identificación Sistemática de Literatura* 34
Ilustración 14: *flujograma para la clasificación de la literatura* 35
Ilustración 15: *Diagrama de flujo para la clasificación y organización de las investigaciones para su análisis (prisma)* 37
Ilustración 16: *Diagrama aluvial de las investigaciones según el objeto de investigación* 39
Ilustración 17: *Diagrama aluvial de los métodos, modelos, instrumentos y conceptos de las investigaciones* 42
Ilustración 18: *Distribución espacial de las investigaciones relacionadas con el tema de la Productividad, Riesgos y Problemas Decisionales* 45
Ilustración 19: *Distribución temporal de las investigaciones relacionadas con el tema de la Productividad, Riesgos y Problemas Decisionales* 46
Ilustración 20: *Flujograma de desarrollo del mapeo sistemático* 47
Ilustración 21: *Interrelación entre la Evaluación de Necesidades y los Documentos Críticos del Negocio/Proyecto.* 76
Ilustración 22: *Factores clave para el éxito en la gestión de riesgos.* ***Fuente:*** (*Risk management in portfolios, programs, and projects: a practice guide*, 2024) 78
Ilustración 23: *El método AHP dentro de entornos VUCA.* 81
Ilustración 24: *Estructura gráfica del método AHP. Saaty 1980* 85
Ilustración 25: *Estructura gráfica del método AHP asociado al caso de estudio – Cartama.* 103
Ilustración 26: *Potenciales de ahorro en Ingeniería de valor VI.* 110

LISTA DE TABLAS E IMAGENES

Tabla 1: *Etapa de Planificación del mapeo sistemático* 32
Tabla 2: *Ecuaciones de búsqueda del mapeo sistemático* 33
Tabla 3: *Criterios de Inclusión del mapeo sistemático.* 34
Tabla 4: *Criterios para la calidad del artículo en el mapeo sistemático.* 34
Tabla 5: *criterios para la clasificación de Investigaciones* 36
Tabla 6: *Propiedades de los modelos gerenciales aplicados en el sector de la construcción.* 60
Tabla 7: *Propiedades de las herramientas decisionales usadas en el sector de la construcción.* 62
Tabla 8: *Diferencias y complementariedades de los modelos gerenciales y las herramientas de análisis decisional.* 64
Tabla 9: *Relacionamiento de los modelos gerenciales y las herramientas de análisis decisional más usados en la construcción* 66
Tabla 10: *Justificación de elección del método AHP orientado en la Ingeniería de valor para el caso de estudio que se desarrolla en esta investigación.* 69
Tabla 11: *Cuadro de áreas del proyecto Packing Cartama* 73
Tabla 12: *pasos de desarrollo del Método AHP. Saaty 1980.* 87
Tabla 13: *Resumen de aspectos evaluados por el equipo estructural para definir las columnas a 9 metros* 89
Tabla 14: *Estimación del Costo de SuperEstrcutura según su distribución.* 89
Tabla 15: *Estimación del costo logístico para las diferentes distribuciones.* 90
Tabla 16: *Tabla de valoración de costos de la superestructura y la logística.* 90
Tabla 17: *Criterios de valoración propuestos* (Domínguez & Cano, 2018) 91
Tabla 18: *Caracterización de Criterios - Variables esperadas* 92
Tabla 19: *cálculo de la productividad de diferentes distribuciones* 93
Tabla 20: *Valoración de la Adaptabilidad según la distribución estructural* 93
Tabla 21: *Consolidado de valoración de criterios.* 94
Tabla 22: *Análisis de Consistencia y Matriz de comparación de Criterios DECISOR 1.* . 97
Tabla 23: *Análisis de Consistencia y Matriz de comparación de Criterios DECISOR 2* .. 97
Tabla 24: *Análisis de Consistencia y Matriz de comparación de Criterios DECISOR 3* .. 98
Tabla 25: *Paso para calcular la media geométrica de los n decisores* 99
Tabla 26: *Análisis de Consistencia y Matriz de comparación de Criterios MULTIDECISOR* 99
Tabla 27*: Matriz de comparación de alternativas.* 100
Tabla 28: *Priorización de la mejor alternativa según el método AHP.* 101
Tabla 29*: Cumplimiento de los pasos del caso de estudio con el Método AHP.* 102
Tabla 30: *Fases de propuesta de desarrollo de marco de Ingeniería de valor aplicando la herramienta decisional AHP.* 114

Imagen 1: *Render proyecto Packing Cartama* 6
Imagen 2: *Ubicación con coordenadas de la planta de aguacates hass.* 71
Imagen 3: *Render de vista lateral izquierda del proyecto Cartama.* 72

LISTA DE ABREVIATURAS

Superíndices

Superíndice	Término
n	Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura	Término
AHP	Análisis Jerárquico Decisional
RQ1	Pregunta de Investigación
MGI	McKinsey Global Institute
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
BIM	Building Information Modeling
BN	Redes Bayesianas
AMC	Análsis Multicriterio
PTF	Productividad Total de Factores
Camacol	Cámara Colombiana de Infraestructura
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
PC	Pregunta de Calidad
IC	Indice de Consistencia – Método AHP
CA	Consictencia Aleatoria – Método AHP
RC	Relación de Consistencia – Método AHP

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción, una piedra angular esencial de la economía mundial, se enfrenta a importantes desafíos en cuanto a productividad y eficiencia. Como se explica en el artículo (McKinsey Global Institute, 2017) titulado “Reinventar la construcción: hacia la cima de la productividad”, se presenta una visión global exhaustiva que subraya la urgente necesidad de abordar las deficiencias de productividad y efectividad de la gestión en este sector crucial. Este examen mundial subraya la importancia de investigar los problemas inherentes a la construcción y proponer estrategias que mejoren la productividad y la competitividad en relación con otros ámbitos económicos, la cual se puede ver de manera gráfica en la (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

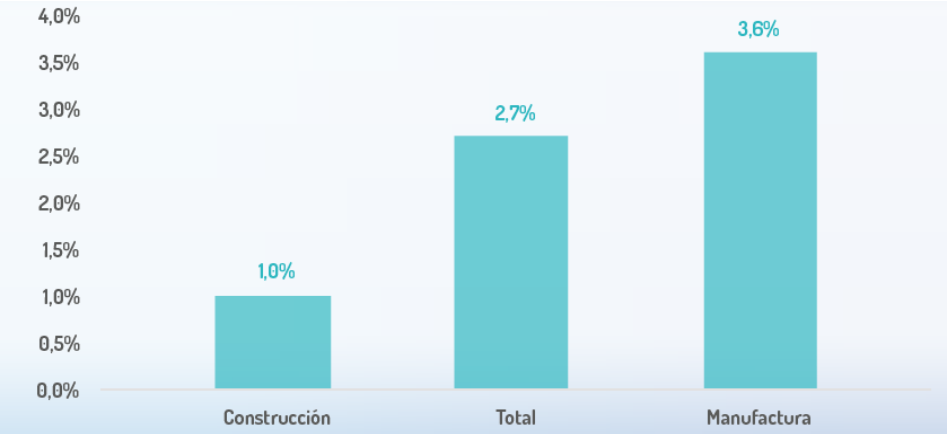


Ilustración 1: *Tasa de Crecimiento compuesta anual de la productividad laboral del sector construcción, manufactura y de la economía mundial, 1995-2015.*
Fuente: *(Bonilla et al., 2018)*

Al concentrarse en el contexto local de Colombia, el informe sobre productividad y riesgos del sector de la construcción de edificios, elaborado por Camacol y McKinsey en 2018 (Bonilla et al., 2018), aclara los desafíos particulares a los que se enfrenta la industria de la construcción en el país. Este informe analiza las métricas de productividad y los riesgos pertinentes a la construcción en Colombia, incorporando la participación activa de una muestra representativa de empresas de construcción que abarcan una parte considerable del mercado local. Se identifican numerosos factores que contribuyen a unos resultados

productivos subóptimos en Colombia, entre los que se incluyen tanto las influencias externas como la dinámica política y cíclica del sector, además de las deficiencias internas, en particular los deficientes procesos de toma de decisiones en las empresas de construcción.

Además, en nuestro contexto nacional, reconocemos el imperativo de mejorar la gestión de riesgos en el sector de la construcción (WEF, 2016), comparando su nivel de sofisticación con el de otras industrias y proponiendo medidas específicas para aumentar la transparencia y la adopción de procedimientos estandarizados como paso preliminar hacia mejoras sostenidas en la productividad. Tal y como se puede ver en (***Ilustración 2***).

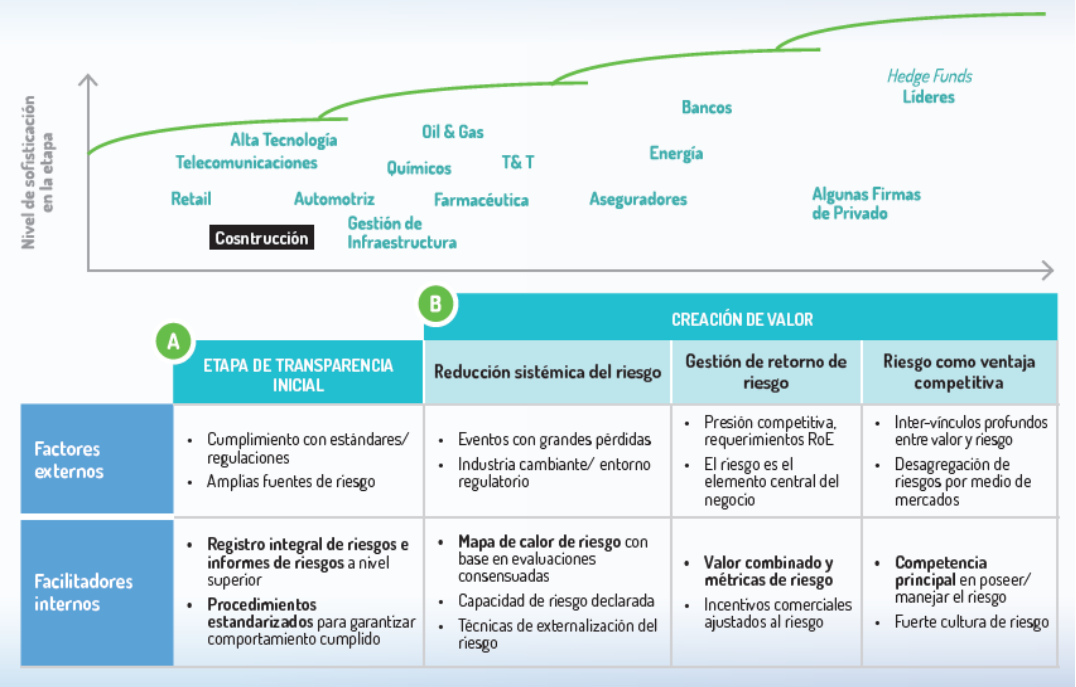


Ilustración 2: *Estatus de gestión de riesgos de diferentes industrias*
Fuente: *Tomado de Camacol y McKinsey (2018)*

La metodología propuesta para este trabajo de profundización desarrolla un mapeo sistemático de literatura (*mapping review/systematic map*) (Grant & Booth, 2009) como marco metodológico para identificar y evaluar la información pertinente asociada con la productividad en la construcción, la gestión de riesgos y la facilitación de los procesos de toma de decisiones. Este procedimiento de mapeo sistemático se organiza en varias fases distintas, comenzando con la planificación meticulosa de la estrategia de búsqueda

y el establecimiento de criterios de inclusión y exclusión para determinar las fuentes de información adecuadas (Conde et al., 2021)

Durante la fase de planificación, se formularon consultas de investigación específicas que orientarán la búsqueda de artículos académicos relevantes en Science Direct y Scopus. Con una cadena de búsqueda se elaboró el mapeo para explorar terminologías clave relacionadas con la productividad en la construcción, la gestión de riesgos competitivos y el análisis de la toma de decisiones. Además, la fuente de información se delineó con criterios de inclusión y exclusión para filtrar los artículos relevantes. Estos criterios se emplearon posteriormente para evaluar la calidad y la relevancia de los documentos seleccionados, identificando un modelo recurrente como el AHP (*Analytic Hierarchy Process*), con el que se profundiza la propuesta del estudio.

Al finalizar la fase de planificación, el proceso avanza a la fase de ejecución, en la que la búsqueda y selección de los elementos se llevan a cabo de acuerdo con los criterios predeterminados. Los datos relevantes se extraen de los artículos elegidos y se organizan de acuerdo con los objetivos de la investigación. Esta etapa abarca la clasificación de los artículos en función de sus atributos, incluido el año de publicación, la ubicación geográfica, la fuente y las métricas relacionadas con la citación y la captura.

La tercera fase del proceso de mapeo sistemático implica el análisis de los datos acumulados. Los resultados se analizan desde un punto de vista cuantitativo y cualitativo, haciendo hincapié en la extracción y el examen de los datos pertinentes a los objetivos de la investigación. Se identifican los patrones, los problemas importantes y las interrelaciones entre los diversos elementos objeto de análisis.

En última instancia, se proporciona una discusión exhaustiva de los resultados derivados del mapeo sistemático. Se abordan las preguntas de investigación iniciales planteadas, lo que facilita la evaluación de la correlación entre los hallazgos y los objetivos de la investigación. Se analizan las tendencias observadas en los datos y se presenta una reflexión crítica sobre su relevancia para el tema en estudio.

El segundo objetivo tiene como alcance, correlacionar los modelos de gestión y las herramientas de análisis decisional empleadas para mitigar los riesgos competitivos y

mejorar la eficiencia operativa. Tras la revisión de documentos, un análisis comparativo de las diversas estrategias de gestión descritas y su relación con las técnicas de análisis de la toma de decisiones, se identificó la existencia de prácticas ejemplares que podrían integrarse en el marco propuesto y su aplicabilidad en Estructurar S.A.S, para contribuir con una propuesta que respalde las decisiones fundamentales en la gestión de proyectos en la organización a través de un proceso metodológico que integre las variables "*¿Por qué?*" "*¿Qué?"*, y "*¿Cómo?*" (Cooke-Davies, 2011), donde; *teoría*, *metodología* y *método* respectivamente, faciliten la concepción y desarrollo de modelos o prácticas documentada de gestión como activos de decisión contextual frente al riesgo y su eficiencia sociotécnica entre las partes interesadas. (Chiapello & Gilbert, 2013).

El objetivo final propone la implementación de un modelo decisional, teniendo un estudio de caso de la misma empresa, donde se analizan variables dentro de un escenario de toma de decisiones para delinear la distribución de un sistema estructural para una planta industrial de la compañía Cartama. Este caso ilustra la aplicación pragmática del marco metodológico y se aplica cómo una técnica de toma de decisiones para mitigar los riesgos competitivos de ambos actores que puedan derivarse de las deficiencias de información, sesgos y, al mismo tiempo, optimizar inductores de valor para las partes. Finalmente, el estudio formaliza su objetivo general presentando una propuesta de marco metodológico integral que sintetiza las herramientas de análisis de la toma de decisiones con las prácticas de gestión aplicables a Estructurar S.A.S., mejorando la capacidad para atenuar el riesgo competitivo de la construcción como el riesgo competitivo de los objetivos del cliente para logro de sus metas de expansión y aumento de su capacidad de exportación.

De acuerdo con (Costa-Carrapiço et al., 2020), se propende por implementar metodologías innovadoras para la toma de decisiones, que permitan la modernización de los sistemas de construcción y mejoren la sostenibilidad y el rendimiento energético. Además, se formula una cadena de búsqueda que abarca las terminologías clave pertinentes a la productividad en el sector de la construcción, la gestión de riesgos y el análisis de los procesos de toma de decisiones. Según (Ma et al., 2020), la utilización de tecnologías específicas ha demostrado la capacidad de disminuir los gastos laborales y agilizar la toma de decisiones en el mantenimiento de la maquinaria de construcción.

Para (Marzouk & Enaba, 2019) se reconoce que la mayoría de los estudios emplean metodologías cualitativas para obtener información, lo que permite examinar fenómenos que no se han cuantificado o reconocido previamente. Los resultados se analizan desde puntos de vista cuantitativos y cualitativos, concentrándose en la extracción y el análisis de los datos pertinentes a los objetivos de la investigación.

Por último, se ofrece una reflexión exhaustiva sobre los resultados derivados del ejercicio de mapeo sistemático. Según (Jaafaru & Agbelie, 2022), es evidente que la búsqueda de metodologías que puedan evaluarse en casos específicos ayuda a mejorar los procesos de construcción y aumenta la productividad. Las preguntas iniciales de la investigación se abordan sistemáticamente, evaluando la correlación entre los hallazgos y los objetivos de la investigación. Las tendencias observadas en los datos se analizan críticamente y se realiza un examen reflexivo sobre su importancia para el tema objeto de investigación.

En el ámbito de la ingeniería y la toma de decisiones relacionadas con los proyectos de construcción, se han diseñado una multitud de metodologías para abordar problemas complejos caracterizados por múltiples criterios. Una de estas metodologías es el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), concebido por Thomas L. Saaty en 1980. El AHP ha sido reconocido por su eficacia a la hora de abordar cuestiones que implican una amplia gama de factores que requieren consideración.

Como marco de aplicación concluyente, se propone desarrollar la propuesta utilizando la metodología AHP (*Analytic Hierarchy Process*) en el proyecto de diseño de una Planta industrial para el Packing de Aguacates Hass. En este caso, la dirección técnica de Estructurar S.A.S. se enfrenta a la necesidad de seleccionar, entre dos propuestas, la disposición lineal de las columnas de la superestructura del proyecto (distancias entre apoyos). Estas propuestas buscan establecer las distancias de las columnas a intervalos de 6 o 9 metros a lo largo de los ejes del proyecto. La selección reflexiva del diseño apropiado es fundamental para avanzar en el diseño del proyecto caso de referencia, denominado “*Planta de empaque de aguacates Cartama*”, ubicada en el municipio de Támesis Antioquia (Colombia) ***Imagen 1*** . La solución, más allá de carácter técnico de la disciplina del diseño estructural, pretende evaluar cómo influirán éstos en la estabilidad logística, la eficiencia operativa de la construcción de la superestructura y el costo de oportunidad para el cliente en términos de riesgo competitivo y gestión de inductores de

valor como consecuencia de las decisiones tomadas para evaluar su ventaja competitiva en la expansión física de sus activos fijos (García-Serna, 2003) (Narea, & Guamán, 2021).

Imagen 1: *Render proyecto Packing Cartama*
Fuente: *Anteproyecto Arquitectónico – Cartama 2024*

En conclusión, este estudio de caso subraya la importancia de emplear metodologías analíticas como la AHP para gestionar los complejos procesos de toma de decisiones en los proyectos de construcción. La selección juiciosa de la distribución de las columnas dentro del proyecto industrial tendrá un impacto profundo en su diseño y eficacia operativa, destacando la importancia de utilizar enfoques estructurados y basados en datos para la toma de decisiones en este ámbito.

En síntesis, con la propuesta práctica del caso de estudio del proyecto, aplicado a la industria de la construcción, se enfrentan los retos en productividad y eficiencia, según lo indicado por McKinsey Global Institute (2017). Y a nivel local, se enfoca en los desafíos específicos en Colombia, como depurar procedimientos para la toma de decisiones y aportar al crecimiento y generación de valor.

2. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

2.1 Descripción del Problema

En el actual entorno empresarial, caracterizado por una creciente complejidad y dinamismo, las organizaciones se enfrentan constantemente a riesgos competitivos que pueden amenazar su posición en el mercado y su sostenibilidad a largo plazo. La toma de decisiones estratégicas frente a estos riesgos se ha vuelto cada vez más desafiante debido a múltiples factores Interrelacionados como la incertidumbre del mercado (efecto VUCA - Volatility, Uncertainty, Complexity and Ambiguity) (Taskan et al., 2022) y la necesidad de considerar diversas perspectivas y criterios que satisfagan procesos decisionales acordes a estas dinámicas y factores restrictivos.

Estos elementos restrictivos pueden clasificarse e identificarse para comprender mejor las variables y los ámbitos donde suceden y establecer un liderazgo y gestión estratégica sobre ellos. El modelo conceptual VUCA de (Taskan et al., 2022) , presenta una orientación clara y sistemática que ubica sobre los significados asociados al termino VUCA. Tal y como se puede ver en (***Ilustración 3:*** *Mapa Conceptual del acrónimo VUCA*).

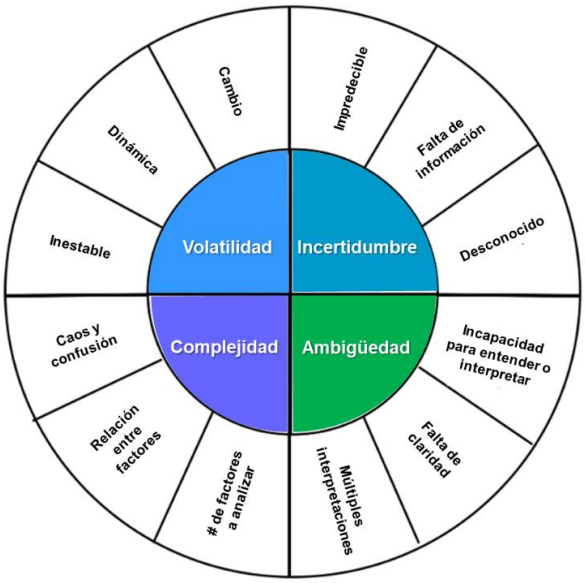


Ilustración 3: *Mapa Conceptual del acrónimo VUCA*
Fuente: *Adaptado de (Taskan et al., 2022)*

La gestión de riesgos proporciona un marco integral e integrado para abordar y gestionar el riesgo en todos los niveles de la organización, desde carteras hasta programas,

proyectos y operaciones. Los interesados deben identificar proactivamente los riesgos a lo largo de la cartera, programa, proyecto y organización para eliminar o minimizar los impactos de las amenazas, así como maximizar el impacto de las oportunidades (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2018).

Como señala Osorio Gómez (2008), "la toma de decisiones multicriterio es un problema crítico de la vida real. Cualquier actividad involucra de una u otra manera, la evaluación de un conjunto de alternativas teniendo en cuenta diversos criterios o atributos que, por lo general, están en conflicto unos con otros" (p. 247), lo que puede ser de alto valor para el sector AECO (*Architecture, Engineering, Construction and Operactions*) y en particular para una compañía que busca satisfacer las necesidades contextuales del cliente y su eficiencia organizacional.

En este contexto, surge la necesidad de contar con un marco decisional estructurado y sistemático que permita a la empresa constructora evaluar y gestionar eficazmente los riesgos competitivos del cliente y los suyos basados en la generación de valor e incorporar la visión de liderazgo competitivo bajo la concepción VUCA. Los procesos de análisis jerárquicos se presentan como una metodología prometedora para abordar esta problemática. Según (Berumen, 2007), el AHP es un lógico y estructurado método de trabajo que optimiza la toma de decisiones complejas cuando existen múltiples criterios o atributos, mediante la descomposición del problema en una estructura jerárquica. Sin embargo, su aplicación específica en el ámbito de la gestión del riesgo competitivo en nuestro contexto AECO aún no ha sido completamente explorada ni validada.

La gestión de riesgos estratégicos permite diseñar e implementar un enfoque sistémico y sistemático para hacer frente a la incertidumbre organizacional respeto de sus metas (Pinto, 2018). En este sentido, el AHP podría proporcionar un enfoque estructurado para el direccionamiento y toma de decisiones, ya que ofrece un método cuantitativo para decidir considerando múltiples objetivos (Nantes, 2019)

Estos aspectos aportan ideas importantes para vincularlas como base para delimitar el problema de investigación y donde se plantea como pregunta general:

> *¿Cómo se puede implementar efectivamente el método AHP como marco decisional para la gestión del riesgo competitivo en Estructurar S.A.S., y cuáles son los beneficios y desafíos asociados con su aplicación en el contexto específico*

Planta Cartama ubicada en el municipio de Támesis - Antioquia y sus partes interesadas?

Este planteamiento busca abordar la brecha existente entre la teoría del AHP y su aplicación práctica en la gestión del riesgo competitivo en proyectos de construcción, con el objetivo de proporcionar a las organizaciones una herramienta robusta y adaptable para mejorar su proceso de toma de decisiones estratégicas en entornos altamente competitivos. Como señala Bruno (2019.), "el proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, posteriormente, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio" (p. 3), lo que subraya la importancia de una implementación cuidadosa y contextualizada del método AHP en la gestión del riesgo competitivo.

La efectividad en el sector de la construcción representa una preocupación fundamental, ya que produce profundas ramificaciones para el valor agregado de la industria y la economía global en general. Las investigaciones revelan que las metodologías de gestión decisional en la construcción convergen con las de sectores alternativos o de la economía agregada, esto podría catalizar una mejora del valor agregado del sector en 1,6 trillones de dólares al año, lo que equivale a un aumento del 2% en la economía mundial (McKinsey Global Institute, 2017), Tal y como se puede ver en (***Ilustración 5***) e (***Ilustración 4***). Numerosos trabajos académicos subrayan la necesidad de aumentar la productividad a través de innovaciones como la tecnología de prefabricación (Pottachola, 2020) (Eyerman, 2022) (Santos & Oliveira, 2023) (Khan, 2024), que brindan beneficios que incluyen plazos acelerados, costos reducidos y un cumplimiento preciso de los estándares de construcción (Shahpari et al., 2020). Además, la aplicación de algoritmos de aprendizaje profundo para la identificación de las operaciones de los equipos de construcción presenta la oportunidad de mejorar la eficiencia, la seguridad y la mitigación de los impactos ambientales en las iniciativas de construcción (Slaton et al., 2020). Al concentrarse en factores determinantes como el costo, el tiempo, la fuerza laboral y la administración, la industria de la construcción puede esforzarse por alcanzar niveles elevados de productividad y enfrentar los desafíos a los que se enfrenta actualmente (Ballesteros-Pérez et al., 2019).

El sector de la construcción se enfrenta a obstáculos relacionados con la efectividad derivados de procesos de toma de decisiones poco óptimos o empíricos, que impiden el éxito de los proyectos y la eficiencia operativa. La investigación señala que la disminución de la productividad en el ámbito de la construcción se ve afectada por varios factores, como las estrictas normativas, la insuficiencia de las metodologías de diseño, la ineficacia de la gestión de proyectos y la falta de cualificación adecuada de la mano de obra (Shahpari et al., 2020);(Tan et al., 2021). La fusión del modelado de información de edificios (BIM) con la toma de decisiones multicriterio (MCDM) tiene el potencial de mejorar la integración de la información y facilitar una mejor toma de decisiones en los proyectos de construcción, abordando así el desafío del conocimiento fragmentado entre las partes interesadas (Ma et al., 2020). La participación colaborativa entre las partes interesadas es igualmente esencial para el éxito de los proyectos de construcción, ya que puede aliviar problemas como la baja productividad, los excesos presupuestarios y la innovación limitada, aunque requiere un esfuerzo considerable y ajustes de comportamiento por parte de los participantes (McKinsey Global Institute, 2017). Al abordar estos impedimentos mediante procesos de toma de decisiones refinados, la industria de la construcción puede aspirar a aumentar la productividad y la eficiencia de los proyectos.

En un esfuerzo por resolver los problemas relacionados con la productividad, se han propuesto diversas metodologías de análisis de decisiones en diversos contextos. Estas metodologías abarcan la aplicación de técnicas de análisis de decisiones multicriterio (MCDA), como el AHP, el MAVT, el MAUT y el TOPSIS, que son adecuadas para abordar escenarios complejos de toma de decisiones caracterizados por objetivos contradictorios (Moretti et al., 2021). Además, la cuadrícula de toma de decisiones (DMG) ayuda a seleccionar estrategias de mantenimiento basadas en criterios como el tiempo de inactividad y la frecuencia de fallas, mientras que las metodologías más complejas, como el proceso jerárquico analítico (AHP) y el proceso de red analítica (ANP), tienen en cuenta factores adicionales como el costo, el riesgo y la confiabilidad (Bonilla et al., 2018).

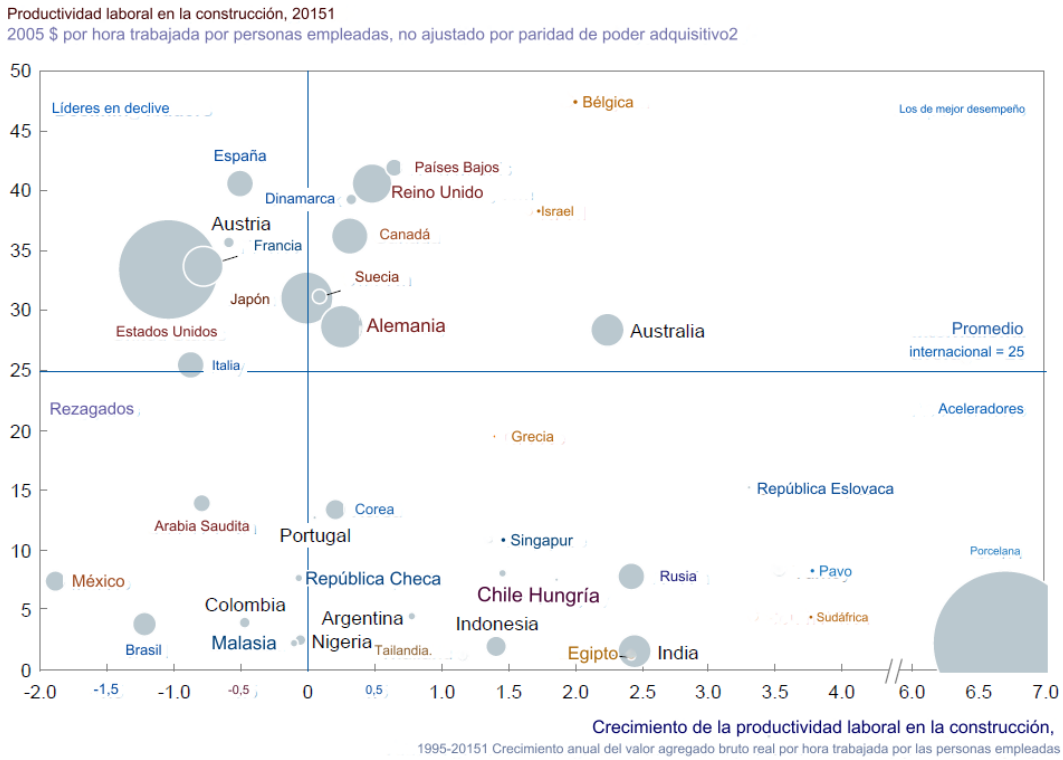


Ilustración 4: *Productividad laboral en la construcción*
Fuente: *McKinsey (2017)*

Además, el estudio sobre evaluación de sistemas constructivos resalta la importancia de herramientas como DEMATEL, ANP y TOPSIS para determinar la productividad de los métodos de construcción, enfatizando la importancia de los criterios de gestión y planeación en los procesos de toma de decisiones (Jaafaru & Agbelie, 2022). Estas diversas metodologías ofrecen marcos estructurados para evaluar y mejorar la productividad en diversos dominios.

De acuerdo con lo anterior, existe una necesidad imperativa de implementar marcos estructurados en las organizaciones AECO que conlleven análisis decisionales formales y sistemáticos como (AHP), que permitan gestionar eficazmente estos riesgos y mejorar la toma de decisiones estratégicas en proyectos de construcción, como los de Estructurar S.A.S. y CARTAMA, para asegurar su competitividad y sostenibilidad a largo plazo.

2.1.1 Justificación

La baja productividad y efectividad de las decisiones en el sector de la construcción, tanto a nivel global como en el contexto específico de Colombia, representa un desafío significativo que impacta negativamente en la economía y el desarrollo de infraestructuras y proyectos. Esta problemática ha sido ampliamente documentada por organizaciones como la OCDE y McKinsey (McKinsey Global Institute, 2017), que destacan la necesidad urgente de abordar las brechas de efectividad en este sector vital, Tal y como se puede ver en (***Ilustración 5***). Además, estudios locales, como el Informe de Productividad y Riesgos para el Sector de Construcción de Edificaciones en Colombia (Bonilla et al., 2018), corroboran la existencia de deficiencias en la toma de decisiones como uno de los principales factores contribuyentes a esta baja productividad.

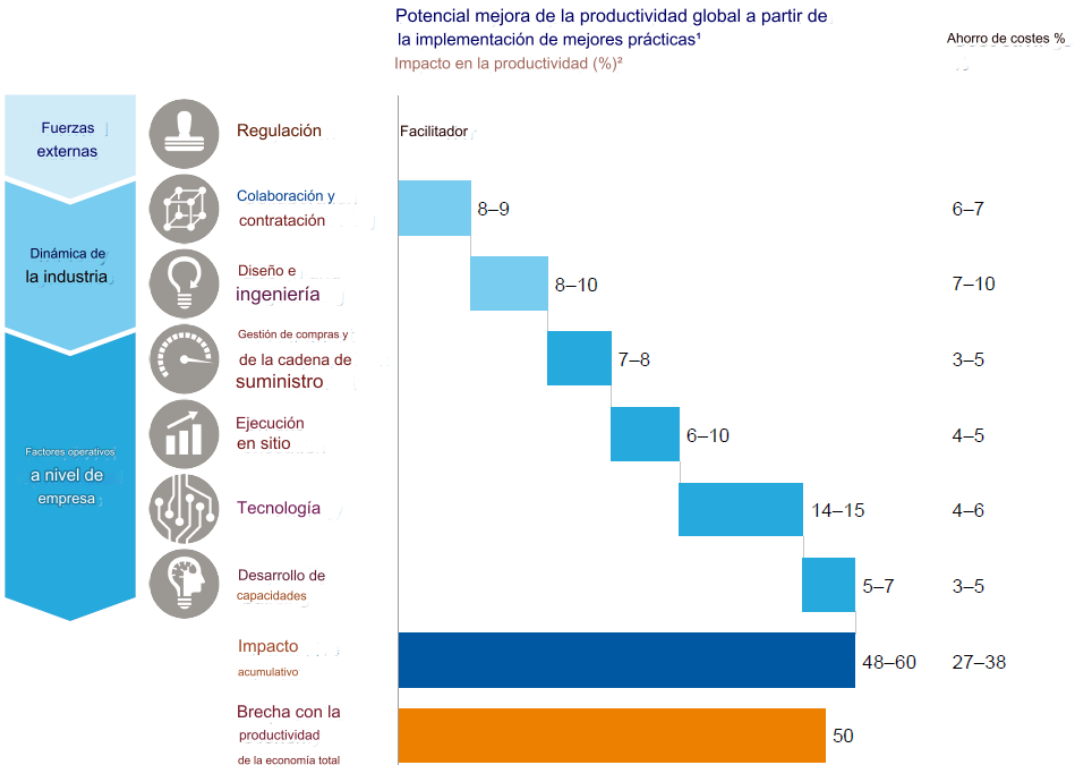


Ilustración 5: *Potencial mejora de la productividad global a partir de la implementación de mejores prácticas*
Fuente: *(McKinsey Global Institute, 2017)*

En el contexto de Estructurar S.A.S. no se cuenta con un proceso específico documentado para la toma de decisiones en etapas preliminares donde se conceptúan los proyectos y se tomas acciones de su estructuración, quedando a discreción de quienes estén inmersos en este tipo de procesos o asignados como líderes de proyectos. El reconocimiento de la trascendencia de la toma de decisiones en la fase de conceptualización y diseño es un aspecto crítico en el que se involucran criterios de diseño, concepto de diseño, diseño de procesos, diseño de productos e ingeniería de detalle que favorezca la mitigación de riesgos y contribuya a la generación de valor para el cliente y mitigar el desperdicio derivado de omisiones, mala planificación y manejo eficiente de procesos. (Rúa Machado, 2022).

Para Estructurar S.A.S esta situación ha generado desaciertos por falta de procesos decisionales lo que ha puesto a la empresa en situaciones de riesgo competitivo y al mismo tiempo al cliente. De acuerdo con (Martínez et al.,2012), si no se toman medidas de gestión temprana de riesgos, especialmente en fases de concepción y diseño, posteriormente serán necesarias medidas de choque sobre situaciones que se materializan en siniestros o pérdidas reales para las partes interesadas del proyecto.

Ante este panorama, surge la necesidad de profundizar y desarrollar prácticas gerenciales efectivas que puedan mejorar la creación de valor y mitigar los riesgos en proyectos de construcción. La aplicación de un modelo decisional basado en el Método de Análisis Jerárquico (AHP) (Toskano Hurtado, 2019) identificado en la revisión de literatura como uno de los más citados para un caso específico, como la construcción de una planta industrial de aguacates, se explica como un enfoque estratégico para abordar esta problemática. Este modelo no solo tiene el potencial de optimizar la toma de decisiones en proyectos particulares, sino que también podría contribuir a una mejora general en la productividad del sector de la construcción en Colombia, alineándose con las recomendaciones de las principales instituciones y expertos en la materia.

2.2 Pregunta de Investigación

¿Cómo un marco decisional como AHP, durante la fase de diseño de un proyecto AECO, puede mejorar la eficiencia de las decisiones para la mitigación del riesgo competitivo para el cliente y el estructurador de proyectos?

2.3 Objetivo General

Desarrollar un marco metodológico a partir de AHP para mejorar la toma de decisiones y mitigar el riesgo competitivo de las partes *Estructurador-Cliente* en un caso de la empresa Estructurar S.A.S.

2.3.1 Objetivos Específicos

- Identificar fuentes primarias sobre aplicación de modelos decisionales basados en AHP que contribuyan en la gestión del riesgo competitivo y establecer su pertinencia en la estructuración de proyectos en Estructurar S.A.S.
- Relacionar modelos para la mitigación del riesgo competitivo y el mejoramiento de la eficiencia, con las herramientas de análisis decisional en el contexto del caso de estudio.
- Proponer un proceso que permita, a partir de un caso de estudio en Estructurar S.A.S, abordar las decisiones de forma conjunta e informada para la mitigación del riesgo competitivo de las partes.

2.4 Hipótesis

La implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) por parte de Estructurar S.A.S. en la estructuración del proyecto de expansión de CARTAMA en el municipio de Támesis – Antioquia, puede mejorar significativamente el proceso de toma de decisiones estratégicas, resultando en un beneficio mutuo que mitigue el riesgo competitivo de las partes, en comparación con la forma tradicional sin AHP.

3. CONTEXTO

3.1 Internacional

La efectividad en el sector internacional de la construcción varía significativamente, con algunos países sobresaliendo mientras que otros se quedan rezagados (WEF, 2016). A nivel mundial, el crecimiento de la productividad laboral en la construcción ha sido modesto, promediando solo el 1 por ciento anual en las últimas dos décadas (McKinsey Global Institute, 2017). Tal y como se puede ver en (***Ilustración 6***).

Los factores que influyen en la productividad incluyen la gestión y planificación, el costo y el tipo de sistema de construcción utilizado, como los sistemas de concreto prefabricados o in-situ (Shahpari et al., 2020). Persisten desafíos para lograr entregas exitosas de proyectos debido a incertidumbres, cambios de diseño y la necesidad de transformaciones radicales en las metodologías de ejecución de proyectos (Abdulfattah et al., 2023). Los países en desarrollo, particularmente en Oriente Medio, enfrentan obstáculos en la implementación tecnológica, lo que dificulta el crecimiento y la competitividad de las pymes de construcción (Sarvari et al., 2021). Para mejorar la productividad y abordar las ineficiencias, un análisis exhaustivo de todos los factores que influyen, incluidos los avances tecnológicos, los métodos de gestión de proyectos y las estructuras organizativas, es crucial para el avance de la industria internacional de la construcción.

Ilustración 6: *Crecimiento promedio de la productividad laboral en las últimas décadas*
Fuente: *McKinsey (2017)*

Las regulaciones internacionales desempeñan un papel crucial para influir en la productividad de la construcción al dar forma a la dinámica de la industria, los factores operativos a nivel de la empresa y las fuerzas externas. El análisis del McKinsey Global Institute destaca que los cambios en los paisajes regulatorios, como la armonización y la orientación al desempeño, pueden conducir a impactos significativos en la productividad, con posibles mejoras globales que van del 50% al 60% a través de la implementación de mejores prácticas (McKinsey Global Institute, 2017), Tal y como se puede ver en (***Ilustración 7***).

Sin embargo, la eficacia de las regulaciones para impulsar la innovación y la productividad varía entre los países desarrollados y los países en desarrollo. Si bien los países desarrollados como Estados Unidos tienen políticas de innovación bien establecidas que apoyan a las empresas a adoptar nuevas tecnologías y fomentar la colaboración, los países en desarrollo como Vietnam enfrentan desafíos debido a la ausencia de políticas claras de innovación, lo que dificulta las inversiones proactivas en investigación y desarrollo y la adopción de tecnología (M. Van Nguyen, 2023). Adicionalmente, los criterios de selección de los subcontratistas, influenciados por la normativa, juegan un papel crítico para asegurar el éxito del proyecto y la productividad en el sector de la construcción (Olanrewaju et al., 2022).

Ilustración 7: *Acción en áreas que pueden aumentar la productividad*
Fuente: *McKinsey (2017)*

La productividad de la construcción a nivel mundial ha sido un desafío persistente, con la industria rezagada con respecto a otros sectores como la manufactura, exhibiendo solo un crecimiento anual promedio de 1% en la productividad laboral en las últimas dos décadas en comparación con 2.8% para la economía mundial total y 3.6% para la manufactura (McKinsey Global Institute, 2017). Tal y como se mostró en la (**¡Error! No s e encuentra el origen de la referencia.**). No obstante, algunos países han logrado

niveles saludables de productividad y tasas de crecimiento en la construcción, lo que demuestra el potencial de mejora (Slaton et al., 2020), Tal y como se puede ver en (***Ilustración 4:*** *Productividad laboral en la construcción*). Diversos investigadores enfatizan la importancia de aprovechar tecnologías y metodologías novedosas para mejorar la productividad en la construcción, con un enfoque en factores como el costo, el tiempo, los recursos humanos y la sustentabilidad ambiental (Shahpari et al., 2020). Se han recomendado técnicas híbridas de aprendizaje automático difuso para el modelado predictivo para pronosticar y monitorear la productividad de la construcción, la administración de costos de proyectos y la toma de decisiones en los métodos de entrega de proyectos, destacando la importancia de las tecnologías avanzadas para mejorar la productividad de la construcción (P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022).

El panorama internacional de la construcción presenta una serie de desafíos y oportunidades clave que influyen en el rendimiento y la productividad de la industria a nivel global. La Encuesta de Productividad de la Construcción de MGI resalta varias razones detrás del desempeño insatisfactorio, incluyendo la informalidad, la corrupción y la fragmentación del mercado. Estos factores contribuyen a una gestión deficiente de proyectos, procesos de diseño inadecuados y una inversión insuficiente en innovación y desarrollo de habilidades. (McKinsey Global Institute, 2017)

Los avances recientes en la productividad de la construcción se centran en aprovechar tecnologías disruptivas como redes recurrentes convolucionales para el reconocimiento de actividades (Slaton et al., 2020). La innovación digital se identifica como un área clave para la mejora, con el potencial de impulsar la productividad del sector hasta en un 14-15% a través de tecnologías como redes neuronales artificiales (ANN) y algoritmos de aprendizaje automático (Koc et al., 2022). Estas tecnologías permiten el seguimiento y monitoreo automatizados de los recursos, lo que lleva a ganancias medibles en productividad, sustentabilidad y seguridad en los proyectos de construcción (Moretti et al., 2021). Además, el desarrollo de marcos integrales como el marco de planificación de mantenimiento de puentes (BMPF) utilizando modelos de optimización multiobjetivo muestra un cambio hacia enfoques más eficientes y basados en datos para mejorar la productividad de la construcción (Jaafaru & Agbelie, 2022).

La productividad de la construcción enfrenta diversos desafíos, como los bajos costos de colaboración, la complejidad y la necesidad de un cambio de comportamiento (Nikulina

et al., 2022). Adicionalmente, los problemas de manejo de tolerancia y variabilidad dimensional en prefabricación y proyectos de construcción fuera del sitio plantean desafíos significativos que pueden conducir a conflictos y reelaboración (Rausch et al., 2019). El problema de productividad intratable de la industria de la construcción es evidente en la baja tasa de crecimiento en comparación con otros sectores, con factores como la regulación extensa, la falta de mano de obra calificada y la mala gestión de proyectos que contribuyen a sobrecostos y tiempo (McKinsey Global Institute, 2017). Las incertidumbres como las condiciones climáticas, las propiedades geológicas y las fluctuaciones del mercado complican aún más las operaciones de construcción, lo que requiere una gestión eficiente a través de técnicas de inteligencia artificial para abordar la naturaleza dinámica y compleja de los problemas de ingeniería y gestión de la construcción (Tiruneh et al., 2020). Además, las pymes de la construcción en los países en desarrollo luchan con las capacidades tecnológicas, la falta de recursos y la visión a corto plazo, lo que dificulta su capacidad de competir y crecer de manera efectiva (Sarvari et al., 2021).

Impulsar la productividad de la construcción implica aprovechar diversas estrategias y tecnologías. Las investigaciones indican que la industria de la construcción puede aumentar la productividad hasta en un 50-60% a través de la acción en siete áreas clave, incluida la creación de capacidades, la adopción de tecnología, las adquisiciones y la gestión de la cadena de suministro (McKinsey Global Institute, 2017). La implementación de tecnologías disruptivas y análisis de datos puede conducir a ganancias medibles en productividad, sostenibilidad y seguridad, y los sistemas automatizados de seguimiento y monitoreo juegan un papel crucial (Slaton et al., 2020). Adicionalmente, enfatizar los beneficios de la Construcción Prefabricada de Concreto (PCC) y responder a presiones competitivas puede influir positivamente en la adopción de nuevas tecnologías y métodos, mejorando aún más la productividad en el sector de la construcción (Katebi et al., 2022). Además, la utilización de métodos de toma de decisiones de múltiples criterios puede ayudar a analizar y mejorar los sistemas de construcción, ya que los sistemas prefabricados muestran ventajas en velocidad, rentabilidad y flexibilidad de diseño, contribuyendo en última instancia a una mayor productividad en proyectos de construcción residencial (Shahpari et al., 2020).

Este análisis resalta la importancia de abordar los desafíos de productividad en la construcción a nivel global, especialmente en un contexto donde la eficiencia y la

innovación son fundamentales para satisfacer la creciente demanda de infraestructura y vivienda.

3.2 Nacional

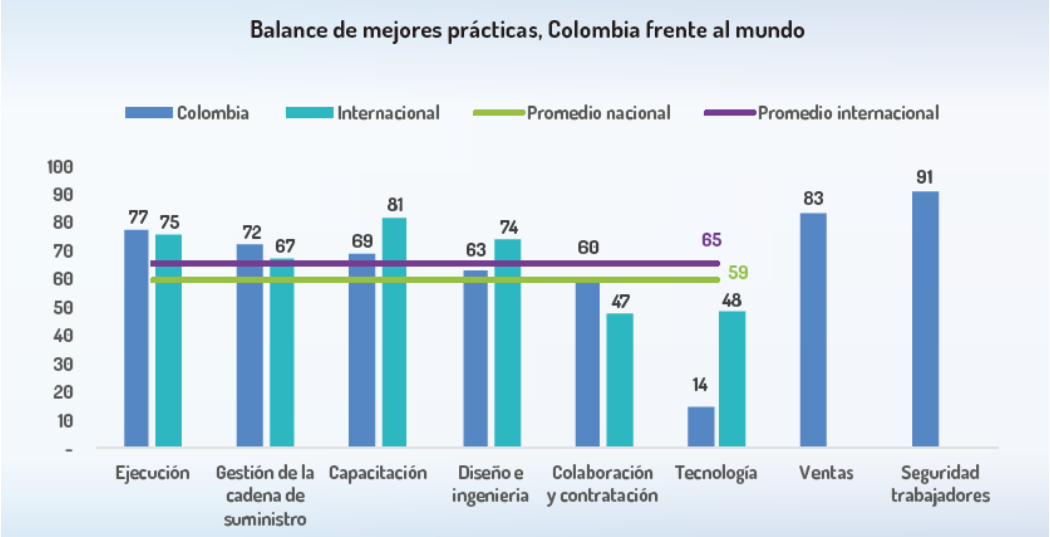


Ilustración 8: *Balance de mejores prácticas, Colombia frente al mundo*
Fuente: *Camacol y McKinsey (2018)*

La productividad en Colombia enfrenta desafíos significativos debido a factores como altos niveles de informalidad tanto en negocios como laborales, mala calidad institucional, deficiencias de infraestructura y desajustes entre los programas educativos y las necesidades de la fuerza laboral (Bonilla et al., 2018), Tal y como se puede ver en (***Ilustración 8***). Abordar estos temas es crucial para mejorar la productividad general en el país. La productividad laboral, específicamente en la construcción, es vital ya que impacta directamente el valor proporcionado a los clientes, la rentabilidad para los contratistas y los salarios de los trabajadores (McKinsey Global Institute, 2017). Para mejorar la productividad, es necesario un enfoque holístico, que implique no solo medidas a nivel macro sino también acciones a nivel de empresa que puedan impulsar significativamente la eficiencia y los niveles generales de productividad (Bonilla et al., 2018). Al alinear esfuerzos para mejorar la productividad, como iniciativas en el sector de la construcción, Colombia puede trabajar para superar estos desafíos y fomentar el crecimiento económico sostenible, Tal y como se puede ver en (***Ilustración 9***.)

Ilustración 9: *Demoras y Sobrecostos en la construcción en Colombia*
Fuente: *Camacol y McKinsey (2018)*

La Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol) ha publicado el primer Informe de Productividad y Riesgos para el sector de Construcción de Edificaciones, resultado de una investigación en colaboración con McKinsey & Co. El estudio, que involucró a 14 empresas colombianas representativas del 22% del mercado, revela que Colombia enfrenta niveles de productividad bajos en comparación con otros países, como México, Brasil, República Checa y Arabia Saudita. (Bonilla et al., 2018)

La adopción de tecnología en Colombia ha mostrado potencial para impactar positivamente la productividad. El análisis de Camacol revela que existe un creciente interés en adoptar tecnologías como el Building Information Modeling (BIM), la construcción modular y la impresión 3D in situ, con un aumento esperado en el uso de

tecnología en los próximos tres años (Bonilla et al., 2018). Además, el sector de la construcción en Colombia tiene la oportunidad de mejorar la productividad mediante la implementación de las mejores prácticas en tecnología, compras, gestión de la cadena de suministro, diseño e ingeniería, como se destaca en el informe de McKinsey sobre potenciadores de productividad en la construcción (McKinsey Global Institute, 2017). Al aprovechar la tecnología y adoptar soluciones innovadoras, Colombia puede abordar los desafíos de productividad e impulsar el crecimiento económico en la industria de la construcción. Los avances tecnológicos tienen el potencial de impulsar significativamente la productividad en Colombia.

En el mundo y particularmente en Colombia, la industria de la construcción enfrenta desafíos relacionados con procesos opacos y fragmentados, estructuras contractuales desalineadas, procesos de diseño inadecuados y mano de obra insuficientemente calificada, todo lo cual contribuye a niveles bajos de productividad (McKinsey Global Institute, 2017). Abordar estos desafíos de toma de decisiones requiere un enfoque integral que aborde informalidades, barreras regulatorias e ineficiencias operativas para mejorar la productividad en todos los sectores en Colombia.

4. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

4.1. Tipo de Investigación

En la primera parte de este estudio, se empleará un enfoque cualitativo descriptivo para realizar un mapeo sistemático de la literatura sobre productividad, análisis decisional y gestión de riesgos en el sector de la construcción, donde se identificó AHP como marco relevante para profundizar en el contexto de Estructurar S.A.S.

El planteamiento permite identificar y sintetizar la literatura existente de manera sistemática y estructurada, facilitando la comprensión del estado actual del conocimiento en estos campos. Se llevaron a cabo búsquedas exhaustivas en bases de datos académicas, aplicando criterios de inclusión y exclusión para seleccionar estudios relevantes. Posteriormente, se extrajeron y analizaron datos clave de los estudios seleccionados, con el objetivo de identificar patrones, tendencias y lagunas en la investigación actual.

Respecto a lo anterior; el diseño metodológico de un proceso de mapeo sistemático implica definir el objetivo principal de la revisión, desarrollarla, planificarla y llevarla a cabo mediante el establecimiento de preguntas de mapeo (MQ) para responder preguntas de investigación (RQs) de manera efectiva, como se describe en (Conde et al., 2021). Las revisiones sistemáticas de la literatura utilizan métodos explícitos y reproducibles para probar hipótesis, resumir estudios existentes y asegurar la coherencia entre ellos, con el objetivo de mejorar la sinergia entre la Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM) y el Modelado de Información de Construcción (BIM) a partir de la literatura (Tan et al., 2021). Las metodologías de investigación en la industria de la construcción a menudo despliegan metodologías mixtas para comprender la relación entre los diferentes métodos de adquisición, utilizando datos cuantitativos y cualitativos para la triangulación para mejorar el rigor y la complejidad (Piroozfar et al., 2019). Adicionalmente, se emplean metodologías sistemáticas de revisión bibliográfica con análisis de contenido para recopilar, organizar y analizar artículos, asegurando selecciones imparciales y estableciendo un cuerpo integral de conocimiento sobre el tema revisado (P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022).

El segundo objetivo tiene como alcance, correlacionar los modelos de gestión y las herramientas de análisis decisional empleadas para mitigar los riesgos competitivos y mejorar la eficiencia operativa, lo cual es una correlación de investigación cualitativa. Tras una amplia revisión y un análisis comparativo de las diversas estrategias de gestión y su relación con las técnicas de análisis de la toma de decisiones, se reconoció la existencia de prácticas ejemplares que podrían integrarse en el marco propuesto, aumentando así su eficacia a la hora de respaldar las decisiones fundamentales en la gestión de proyectos.

En la tercera parte; se empleará un diseño de investigación cuantitativo descriptivo utilizando el modelo de ingeniería de valor y el método de Análisis de Jerarquía Analítica (AHP). Este enfoque es adecuado para problemas de toma de decisiones multicriterio y particularmente para un caso de estudio propuesto para un proyecto de una constructora que requiere definir la configuración estructural ideal de las columnas de una planta industrial, permitiendo estructurar y analizar las alternativas en función de múltiples criterios. El proceso comenzará con la definición del problema y la construcción de una jerarquía que incluye el objetivo principal, criterios relevantes y las alternativas disponibles. A continuación, se realizarán comparaciones por pares para determinar la importancia relativa de cada criterio y alternativa. Los pesos y prioridades resultantes se calcularán para identificar la opción más adecuada. Este método también incluirá una evaluación de la consistencia de los juicios para garantizar la fiabilidad de los resultados. El uso del AHP proporcionará una base cuantitativa sólida para la toma de decisiones informadas en el contexto de la gestión de proyectos de construcción.

Respecto a esto, Las metodologías de análisis de decisiones multicriterio (MCDA) implican estructurar los problemas de decisión jerárquicamente, integrar insumos de expertos y permitir flexibilidad en el cálculo de resultados (Tan et al., 2021). El Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) es un método MCDA ampliamente utilizado, originado en la década de 1970, que ayuda en procesos complejos de toma de decisiones en diversos campos (Ighravwe & Oke, 2019). Adicionalmente, la integral de Choquet es efectiva en la agregación de criterios en el diseño de fachadas de edificios, especialmente cuando existen interacciones de criterios, proporcionando resultados confiables al considerar interdependencias entre criterios (Moghtadernejad et al., 2019). Los métodos MCDA como AHP, MAUT y TOPSIS se aplican en la planificación de mantenimiento para infraestructura de transporte, clasificando alternativas basadas en las preferencias y

objetivos de los tomadores de decisiones (Jaafaru & Agbelie, 2022). Estas metodologías ofrecen marcos estructurados para que los tomadores de decisiones prioricen y clasifiquen alternativas de manera efectiva, considerando múltiples criterios y objetivos conflictivos.

En conclusión, el diseño metodológico de esta investigación es de enfoque mixto con diseño descriptivo y se implementará en dos fases. Primero, se realizará un mapeo sistemático de la literatura para identificar el estado del arte sobre productividad, análisis decisional y gestión de riesgos en la construcción. Luego, se aplicará el método de Análisis de Jerarquía Analítica (AHP) para evaluar y priorizar las alternativas de un sistema de construcción en un caso de estudio, facilitando una toma de decisiones informada y eficaz. Esta combinación permitirá desarrollar un marco apoyo a la ingeniería de valor basado en el uso de la herramienta decisional AHP, optimizando la eficiencia operativa y mitigando el riesgo competitivo en proyectos de construcción.

4.2 Juicio de expertos como apoyo al estudio.

El estudio contó con el apoyo líderes de procesos de Estructurar S.A.S., quienes son responsables de tomar decisiones clave en sus respectivos ámbitos. Se utilizará un método de selección no probabilística para identificar a estos líderes, asegurando que los participantes sean aquellos con experiencia y responsabilidad en áreas críticas del proyecto. Este enfoque permite obtener perspectivas valiosas de individuos directamente involucrados en la toma de decisiones operativas y estratégicas, lo cual es fundamental para evaluar la relevancia y aplicabilidad del método de Análisis de Jerarquía Analítica (AHP) en su contexto específico.

Respecto a lo anterior, la muestra se refiere a un subconjunto de la población que se selecciona para su estudio, con el objetivo de representar a la población más grande. Las referencias de esta investigación utilizan los métodos primarios de recolección de datos, como cuestionarios de encuestas en línea basados en muestreo de bolas de nieve (Olanrewaju et al., 2022), técnicas de muestreo aleatorio (Khoshnava et al., 2020), y criterios teóricos de muestreo para la homogeneidad de casos (Blais et al., 2023), se utilizan para asegurar la relevancia y representatividad de la muestra. Técnicas poblacionales como algoritmos genéticos y sistemas neuro-difusos se emplean para la evaluación y evaluación en diversos campos, asegurando resultados precisos y

optimización del modelo (Tiruneh et al., 2020). Al seleccionar cuidadosamente las muestras y utilizar algoritmos basados en la población, los investigadores pueden sacar conclusiones significativas que reflejen las características y comportamientos de la población más amplia bajo estudio.

Adicionalmente, los métodos de muestreo como el Muestreo de Hipercubo Latino (LHS) y el muestreo de secuencia de Sobol (SSS) aseguran una muestra representativa al cubrir eficientemente el espacio variable y proporcionar una distribución uniforme sobre el hipercubo unitario (Costa-Carrapiço et al., 2020). Además, la utilización de técnicas de muestreo aleatorio junto con métodos inteligentes de muestreo posterior a la optimización puede mejorar la representatividad de la muestra, especialmente en escenarios de optimización restringida (Tiruneh et al., 2020). Al emplear una combinación de estas técnicas, los investigadores pueden asegurar que la muestra refleje con precisión las características y diversidad de la población más grande, lo que lleva a resultados más confiables y generalizables en estudios y análisis (Rausch et al., 2019).

4.3 Método y Técnica de recolección de datos

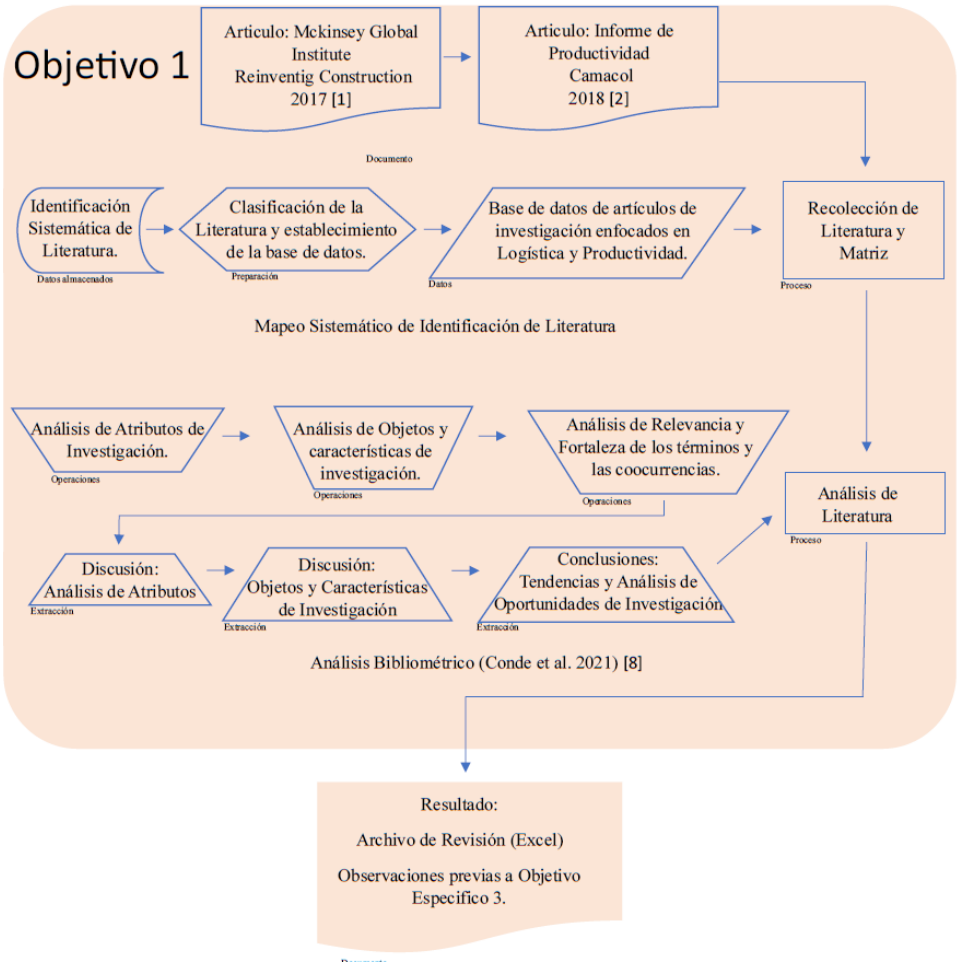
- ✓ **Método de Recolección de Información Mapeo Sistemático:**

Para el mapeo sistemático de literatura, se empleará un método de recolección de información. Este método incluirá búsquedas exhaustivas en bases de datos académicas (García-Peñalvo, 2022b). Se utilizarán términos clave relevantes para identificar estudios pertinentes sobre productividad operativa, análisis decisional y gestión de riesgos en la construcción. Esta combinación de métodos garantizará la exhaustividad y la calidad de la información recopilada para el análisis (García-Peñalvo, 2022b).

- ✓ **Técnica de Recolección de Información Mapeo Sistemático:**

La información recopilada durante el mapeo sistemático se organizará utilizando una técnica estructurada(Conde et al., 2021). Se establecerá un sistema de registro detallado para mantener un registro completo de los estudios identificados, y se utilizará una matriz de extracción de datos para recopilar información clave de cada estudio en una tabla de datos (Excel). Esta técnica permitirá una revisión y validación eficaces de la información recopilada, garantizando su precisión y relevancia para los objetivos del estudio.

Ilustración 10: *Flujograma de Objetivo Especifico 1*.



Fuente: *Elaboración Propia*

Complementando lo anterior, para llevar a cabo una revisión bibliográfica implica varios pasos clave. En primer lugar, es fundamental categorizar los estudios en función de su enfoque, como la evaluación de confiabilidad y desempeño, la planificación del mantenimiento, o la gestión de riesgos (Jaafaru & Agbelie, 2022). En segundo lugar, la revisión debe incluir un análisis de los modelos y metodologías existentes relevantes para el tema de investigación, como el modelado de deterioro para la evaluación del estado del puente o la evaluación de riesgos en proyectos de construcción (Alirezaei et al., 2022). Adicionalmente, la revisión bibliográfica debe identificar cualquier brecha en la investigación actual para proponer nuevas contribuciones, como se ve en la exploración de aplicaciones híbridas BIM y AR para la gestión de riesgos (Abdulfattah et al., 2023).

Por último, sintetizar los hallazgos de diversas fuentes y evaluar críticamente la información es crucial para desarrollar una comprensión integral del tema, asegurando una revisión completa y perspicaz (Meshref et al., 2023).

- ✓ **Método de Recolección de Datos aplicación de Método AHP:**

Participación de los Líderes de Proceso y el Diseñador Estructural: Los líderes de proceso y el diseñador estructural participarán en un ejercicio de caso de estudio aplicando el método AHP. Durante este ejercicio, proporcionarán sus opiniones y criterios sobre las decisiones relacionadas con el diseño técnico de una superestructura a 6 o 9 metros de separación entre columnas.

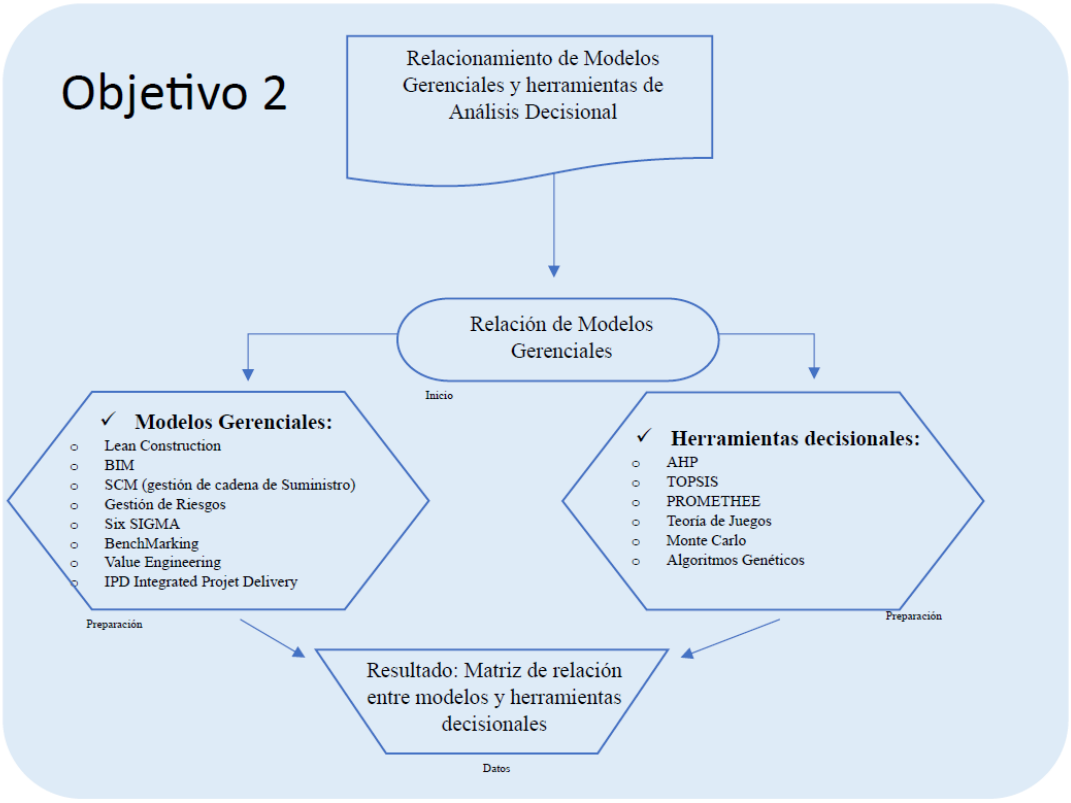


Ilustración 11: *Flujograma del objetivo 2*
Fuente: *Elaboración Propia*

- ✓ **Técnica de Recolección de Datos en Aplicación del Método AHP:**

Registro Detallado de Opiniones y Criterios: Se mantendrá un registro detallado de las opiniones y criterios proporcionados por los participantes durante el ejercicio del caso de estudio.

Esta combinación de método y técnica de recolección de datos garantizará una recopilación sistemática y exhaustiva de información de múltiples fuentes. Esta información servirá como base orientadora para proponer un marco de gestión para la toma de decisiones utilizando el Método AHP, proporcionando así una guía sólida y fundamentada para la toma de decisiones en el contexto de la construcción.

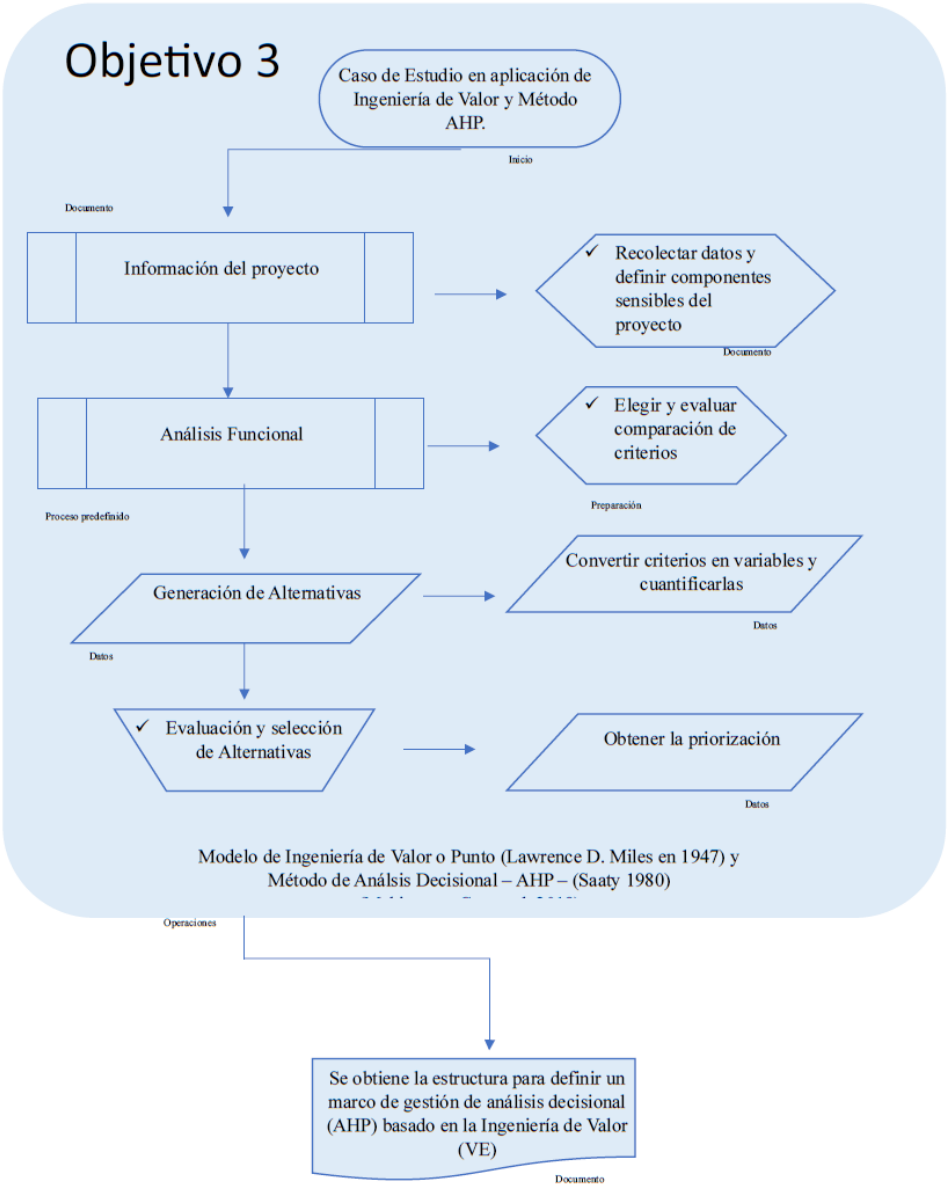


Ilustración 12: *flujograma del Objetivo 3.*
Fuente: *Elaboración Propia*

En investigaciones similares a esta se identificaron las siguientes metodologías de consulta de información: En la investigación de Reconocimiento de actividades constructivas con redes recurrentes, la metodología de recolección de información en la investigación involucró diversas técnicas y pasos. Inicialmente, se realizaron sesiones de recolección de datos con equipos de construcción realizando trabajos reales, para la recolección de datos (Slaton et al., 2020). Mientras en otras: se recolectaron datos relevantes de modelos BIM y fuentes externas, seguido del preprocesamiento y selección de características para su análisis (Abdulfattah et al., 2023). La metodología de investigación también incluyó una revisión sistemática de la literatura y un análisis detallado de contenido relacionado con las técnicas NFS en la investigación del CEM, involucrando la selección de revistas basada en múltiples bases de datos y métricas como CiteScore (Tiruneh et al., 2020). Adicionalmente, se empleó un enfoque de estudio de casos múltiples, seleccionando Pymes canadienses en base a criterios específicos de homogeneidad y saturación teórica en el análisis de datos (Blais et al., 2023). Además, el método CA utilizado en la investigación se centró en el examen visual y la evaluación experta, capturando información de la condición a través de escalas likert y dispositivos móviles para el almacenamiento de datos (Moretti et al., 2021).

5. MAPEO DE LITERATURA (*mapping review*)

El Mapeo Sistemático, traza y categoriza la literatura existente (Conde et al., 2021). Su objetivo principal está focalizado en auscultar un tema determinado en un contexto de desarrollo limitado por tiempo (Grant & Booth, 2009). Siendo este estudio una profundización en un tema de interés específico y no una investigación formal, el mapeo puede categorizar fuentes para delegar nuevas revisiones y/o investigaciones primarias, identificando aspectos relevantes de una forma estructurada sin una exhaustividad profunda, es decir:

> Lograr un dominio en un área del conocimiento y el desarrollo avanzado de competencias que permitan la solución de problemas o el análisis de situaciones particulares de carácter disciplinario, interdisciplinario o profesional, por medio de la asimilación o apropiación de saberes, metodologías y, según el caso, desarrollos científicos, tecnológicos o artísticos. El trabajo de grado de estas maestrías podrá estar dirigido a la investigación aplicada, al estudio de casos, la solución de un problema concreto, el análisis de una situación particular o la elaboración o interpretación de una obra artística (DNPP, 2008)

Por esta razón es establece este enfoque de revisión como eje articulador del tema de estudio del trabajo final y, de esta óptica, realizar una búsqueda con una mirada a las propuestas de investigación enfocadas en la gestión de riesgos y los análisis decisionales.

Luego de definir el objetivo, se debe completar en el mapeo sistemático, una fase de planificación, Tal y como se puede ver en (***Tabla 1***) y otra de realización. Para su desarrollo el método se apoya de en preguntas de mapeo (PC), que ayudarán a responder la pregunta de investigación (RQ). Todo lo anterior para facilitar el logro del objetivo.

5.1 Fase de Planificación

FASE 1: ETAPA DE PLANIFICACIÓN	**Paso 1:** Pregunta de Investigación	Presentar la pregunta del tema de investigación, para orientar, que debe responder la revisión.
	Paso 2: Cadenas de Busqueda	Definir cadenas de busqueda, incluidos los terminos mas relevantes relacionados con el mapeo.
	Paso 3: Fuentes	Describir la fuente de información donde se hallarán las investigaciones para el mapeo sistemático.
	Paso 4: Criterios de Inclusión y Exclusión	Establecer los criterios de selección, es decir, consideraciones relativas a la inclusión de un estudio de la revisión.
	Paso 5: Clasificación de la Literatura y establecimiento de Base de Datos	Definir algunas pautas de calidad para evaluar los articulos seleccionados.
	Paso 6: Formulario de Extracción de Datos	Definir MQ para aplicar a todos los articulos de manera que se puedan obtener datos puntuales.

Tabla 1: *Etapa de Planificación del mapeo sistemático*
Fuente: *Elaboración propia.*

Pregunta emergente:

RQ1: ¿Es posible proponer un modelo decisional para una práctica gerencial en la que se requiera tomar decisiones multicriterio, que mejore la productividad y apoye en la gestión del riesgo en el sector de la construcción, para una constructora que presta sus servicios de gerencia técnica a proyectos de construcción en Colombia, aplicando algún método de Análisis Decisional, a un caso particular de un proyecto industrial de una planta de aguacates en fase de diseño que actualmente gerencia la constructora?

5.1.1 La cadena de búsqueda:

Siguiendo con la pregunta orientadora, es necesario establecer la cadena de búsqueda, que debe incluir todos los términos relevantes que se utilizarán en el proceso de búsqueda para responder la pregunta. Que finalmente son las palabras clave.

- ✓ Productividad: Enfocado en el sector de la construcción, como orientación al trabajo de investigación.
- ✓ Gestión de Riesgo: Investigaciones enfocadas en identificar, generar estrategias y mitigar el riesgo.

- ✓ Análisis Decisional: Métodos aplicados a casos de estudio que apliquen su uso y propongan soluciones.

Con los términos asociados al tema de investigación, y adicionando combinaciones de operadores booleanos (y /o) se definen cadenas de búsqueda, y se combinan entre ellas para obtener una lista de búsquedas que permitan hallar en un metabuscador los artículos de investigación que requerimos para desarrollar el mapeo sistemático. Tal y como se puede ver en (***Tabla 2***)

Como resultado se obtuvo las siguientes ecuaciones de búsqueda propuestas

Combinación 1	Ecuación de Búsqueda
1	"decisional analysis" AND "Risk management"
2	"productivity in construction" AND ("DECISION MAKERS" OR "Risk management")
3	productivity AND "Risk management"
4	productivity AND "decisional analysis"

Tabla 2: *Ecuaciones de búsqueda del mapeo sistemático*
Fuente: *Elaboración propia*

5.1.2 Selección de fuente:

Para esta investigación se define realizar la búsqueda en el metabuscador Science Direct, que es una de las mayores fuentes de información para la investigación científica, técnica y médica. Ofrece el texto completo de las revistas científicas que publica Elsevier, así como capítulos de libros, procedentes de más de 2.500 revistas con revisión por pares. Para esta investigación es relevante contar con los textos completos para ser revisados, por tanto, este metabuscador es apropiado para la revisión propuesta.

5.1.3 definición de Criterios de Inclusión:

Al establecer el metabuscador, ahora se definen los criterios de inclusión y exclusión, con el propósito de filtrar los artículos de investigación, debido a la gran cantidad de información que se genera solo con realizar con la ecuación de búsqueda, Tal y como se puede ver en (***Tabla 3***).

Se construyen los siguientes criterios de inclusión

CRITERIOS DE INCLUSIÓN
Año de publicación entre 2019-2023
Que sea un Artículo de Investigación
Que sea publicado en revista Indexada asociada al área de la construcción
Área temáticas de Ingeniería
Escrito en Inglés

Tabla 3: *Criterios de Inclusión del mapeo sistemático.*
Fuente: *Elaboración propia*

Al aplicar estos criterios y realizar la revisión a cada uno de los textos en el Metabuscador ScienceDirect, se logran los resultados que se esquematizan en la siguiente tabla: (***Ilustración 13***)

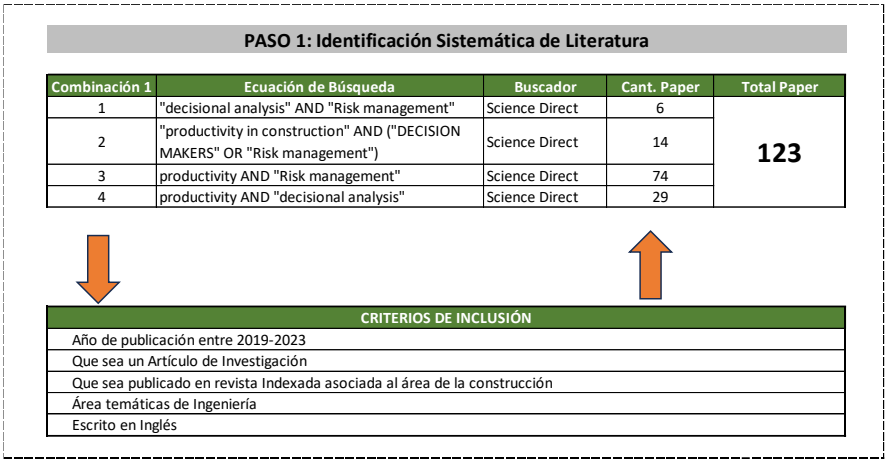


Ilustración 13: *Flujograma de Identificación Sistemática de Literatura*
Fuente: *Elaboración Propia*

5.1.4 Evaluación de la calidad:

Una vez filtrado los artículos con los criterios de inclusión, se procede a valorar la pertinencia del documento con el tema de investigación. Para ello se define las preguntas trazadoras que permiten evaluar el documento (***Tabla 4***).

CRITERIOS PARA LA CALIDAD DEL ARTICULO - VERIFICACIÓN DEL ARTICULO
¿El título del artículo se relaciona con el tema de la investigación?
¿El resumen del articulo se relaciona con el objetivo de Investigación?
¿Define un método de análisis decisional o propone alguna estrategía para la mitigación del riesgo en la construcción?
¿ Se define algún método de análisis de datos o casos de estudio?
¿ Es un hallazgo claro del tema de investigación?

Tabla 4: *Criterios para la calidad del artículo en el mapeo sistemático.*
Fuente: *Elaboración propia*

El resultado de revisión de estos criterios a cada documento en el metabuscador ScieceDirect y Mendeley, fue el que se muestra en esquematizado en la siguiente tabla:

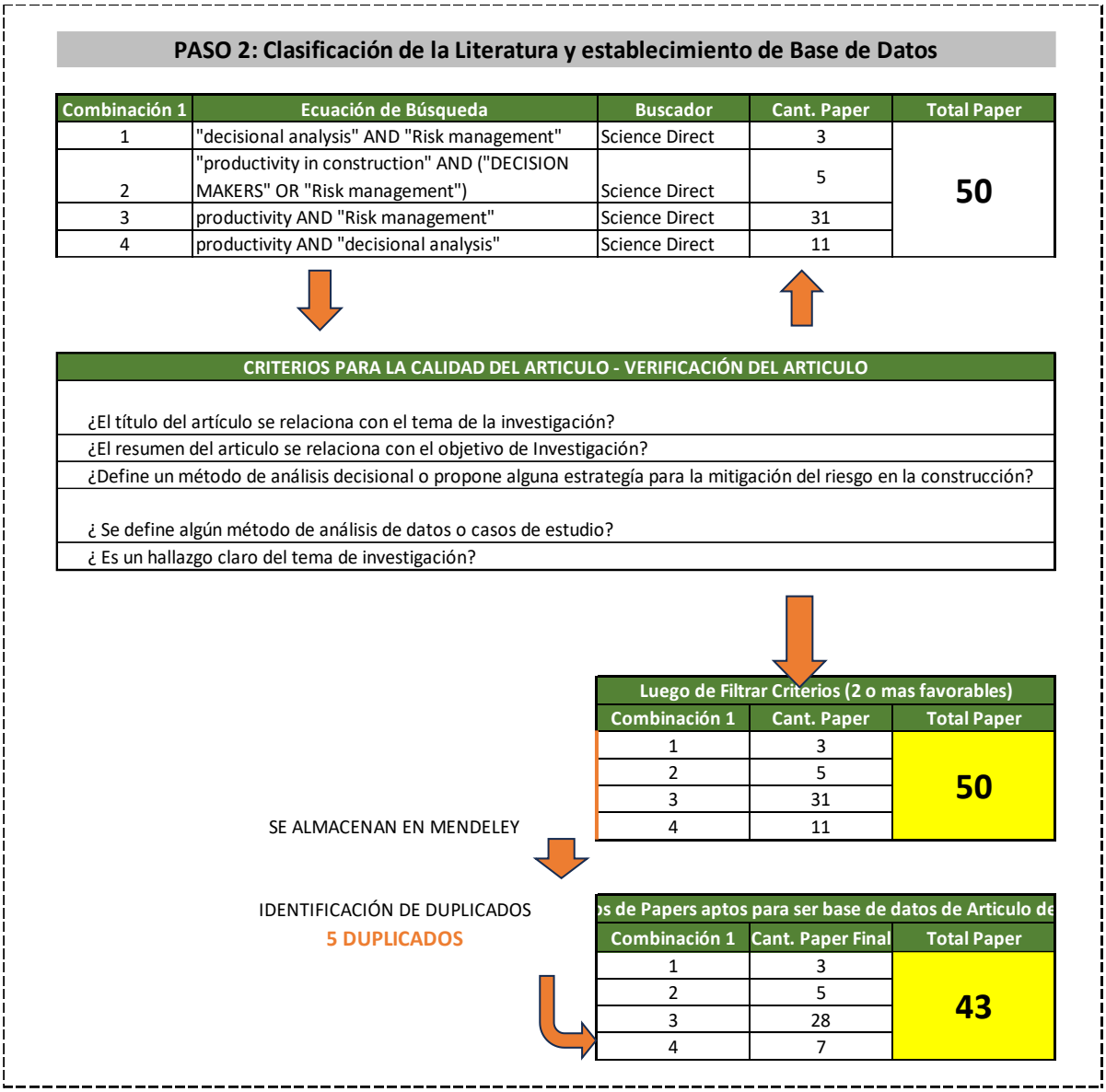


Ilustración 14: *flujograma para la clasificación de la literatura*
Fuente: *Elaboración propia.*

Toda la información del esquema anterior se encuentra almacenada y guardada en ScienceDirect y se estructura en Mendeley. Se guarda conservando la estructura de la (***Ilustración 14***)

5.1.6 Extracción de Datos:

El último paso es realizar una extracción de todos los artículos obtenidos, la cual se describe en la siguiente (***Tabla 5***), y donde se describe la información que se desea hallar:

CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE INVESTIGACIONES			
Dimensión	**Parámetro**		**Indicador**
Atributos de Investigación	A1	Año	2019 - 2023
	A2	Ubicación	USA, China, Australia, etc.
	A3	Fuente	Nombre de Revista
	A4	Citaciones	Numero de citaciones por téxto
	A5	Capturas	Número de Capturas por texto
	A6	Universidad	Nombre de Institución
	A7	Discusiones	Comentarios relevantes para discutir con el autor
Objetos de Investigación	O1	Objeto del problema	Constructivos, Diseños, Riesgos de Información
	O2	Objetivos del problema	Comprender, Aplicar, Análizar, Evaluar
	O3	Tipo de Problema	Seguridad, Datos, Evaluación de Riesgo, Productividad
Características de la Investigación	M1	Método	Métodos Cuantitativos, Método Cualitativo, Método Mixto
	M2	Modelos	Decisional, Híbridos, Predictivo, Simulaciones
	M3	Instrumento	Entrevistas, Observaciones, Revisión Sistemática, Experimentos, Base de Datos
	M4	Conceptos	Gestión de Riesgo, Toma de decisiones, Optimiación, Planeación, Sostenibilidad

Tabla 5: *criterios para la clasificación de Investigaciones*
Fuente: *elaboración propia.*

El resultado final de la aplicación de los anteriores criterios, es **una tabla de datos** que esta organizada para realizar los análsis indicados en el Mapeo Sistemático:

1. Gráficos y Tablas
2. Análisis Creativo y crítico de los datos
3. Comparaciones
4. Identificar patrones o temas importantes.

5.2 Etapa de cribado:

Se expone en un diagrama de flujo como se desarrolló el proceso de clasificación y organización, Tal y como se puede ver en (***Ilustración 15***).

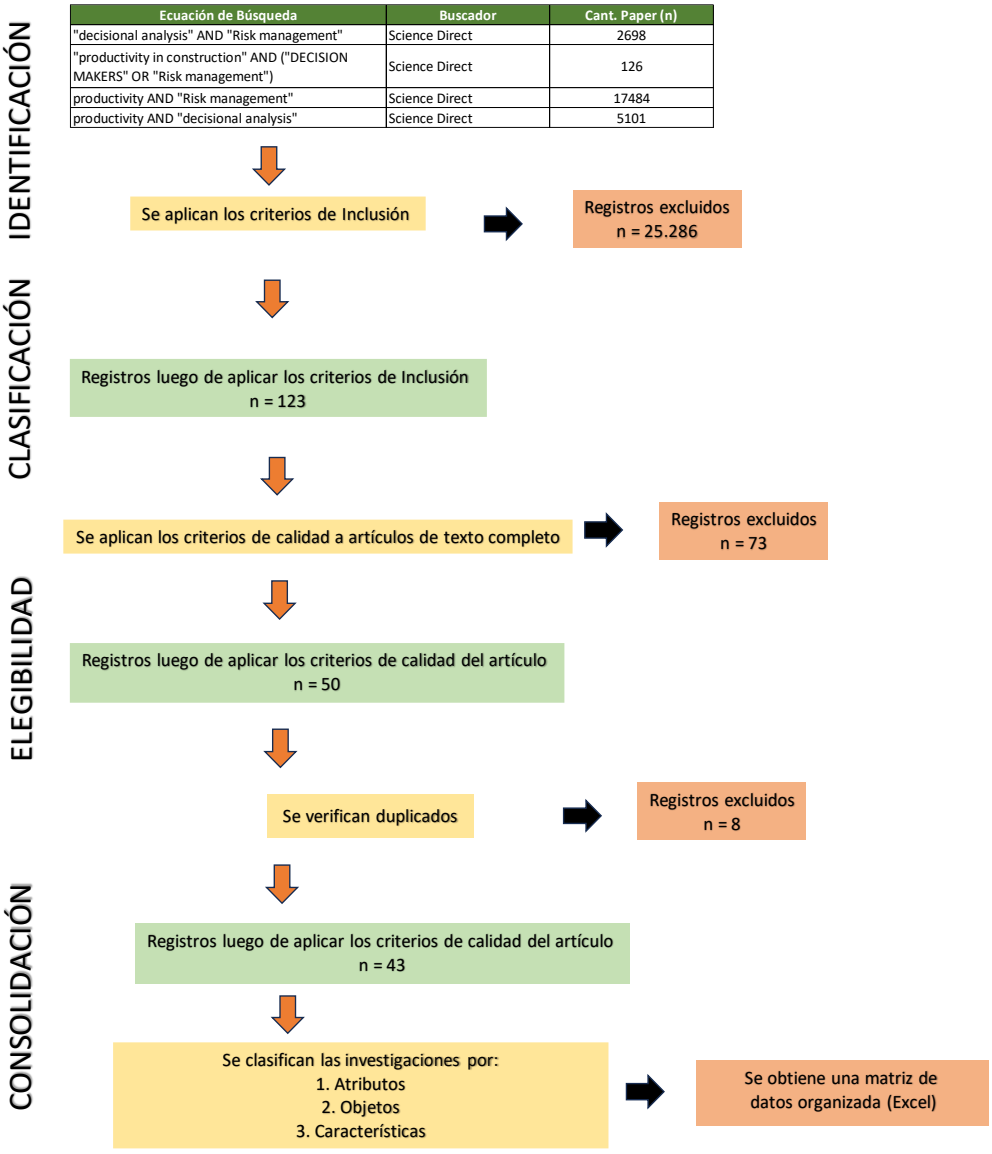


Ilustración 15: *Diagrama de flujo para la clasificación y organización de las investigaciones para su análisis (prisma)*
Fuente: *Elaboración propia.*

5.3 Datos de Resultado y análisis:

Para esta sección se presentan los resultados desde una perspectiva cuantitativa y luego se desarrolla una discusión con los autores sobre las preguntas definidas en el formulario de extracción de datos, al momento de clasificar las investigaciones por Atributos, Objetos y características.

5.3.1 Extracción y análisis de datos

En esta sección se muestran los resultados que responden a las preguntas de Criterios de calidad del artículo, que para nuestro caso son los 43 artículos obtenidos en el filtro de ELEGIBILIDAD según el diagrama de flujo (***Ilustración 15:*** *Diagrama de flujo para la clasificación y organización de las investigaciones para su análisis (prisma)*).

Para el cuestionario se formularon 5 preguntas que debían responder a una temática de Productividad, Riesgos y Problemas decisionales enfocados en el sector de la construcción. De las 5 preguntas, seleccionamos 2 que sintetizan la extracción de análisis de esta sección 2.1, a continuación, se desarrollan:

5.3.1.1 PC1 ¿El título del artículo se relaciona con el tema de la investigación?

Para responder a esta pregunta, se analizaron los 43 artículos en búsqueda de temas de Productividad, Riesgos y Problemas decisionales; los cuales se habían previamente acotado desde las orientaciones obtenidas desde los estudios de McKinsey (2017) y Camacol (2018). Para esto se obtuvieron 3 clasificaciones en la fase de CONSOLIDACIÓN, según el diagrama de flujo (***Ilustración 15:*** *Diagrama de flujo para la clasificación y organización de las investigaciones para su análisis (prisma)*). (***Tabla 5:*** *criterios para la clasificación de Investigaciones*), estos análisis de las investigaciones se enmarcaban en 3 temas orientadores que a continuación se describen, y los cuales se puede ver en (***Ilustración 16***):

- Objeto del Problema:
    - Constructivos,
    - Diseños,
    - Riesgos de Información.
- Objetivos del problema: (Según la taxonomía de Bloom)
    - Comprender,
    - Aplicar,
    - Analizar,
    - Evaluar,
- Tipo de Problema:
    - Seguridad,

- Datos,
- Evaluación de Riesgo,
- Productividad

.

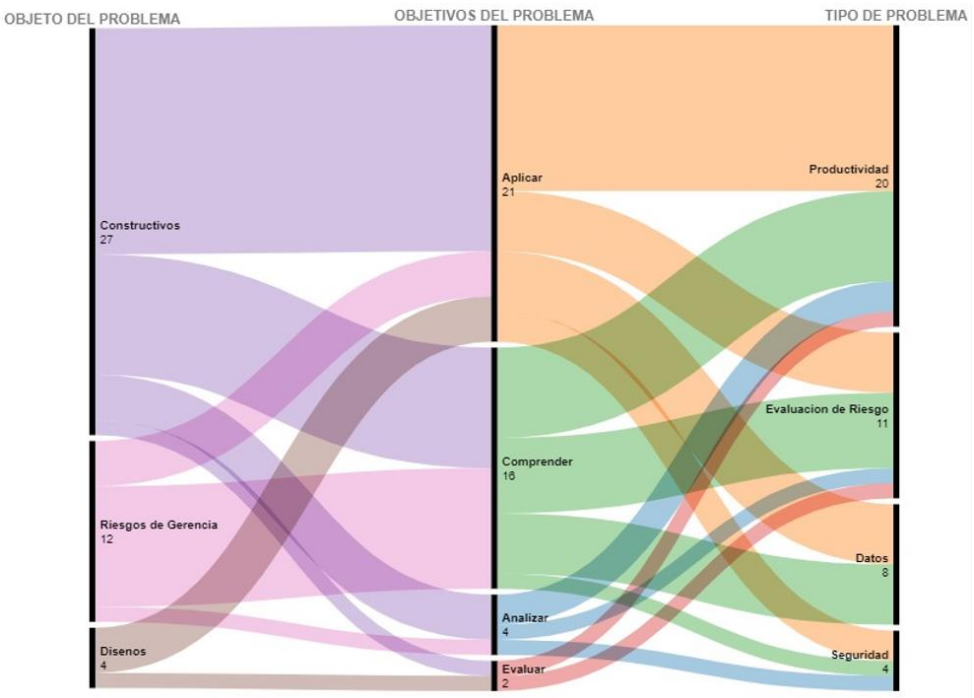


Ilustración 16: *Diagrama aluvial de las investigaciones según el objeto de investigación*
Fuente: *Elaboración propia*

- **OBJETOS DEL PROBLEMA**

Descripción	Referencias	N° de Estudios
Constructivos	(Andreolli et al., 2022a)(Moretti et al., 2021)(Costa-Carrapiço et al., 2020)(Celik & Gul, 2021)(Meshref et al., 2023)(Shahpari et al., 2020)(Katebi et al., 2022)(Zamani et al., 2023)(Ngo et al., 2022)(Ma et al., 2020)(Ballesteros-Pérez et al., 2019; Piroozfar et al., 2019)(Koc et al., 2022; Rausch et al., 2019; Wang et al., 2023)(Alirezaei et al., 2022; Khoshnava et al., 2020; Nikulina et al., 2022; Slaton et al., 2020; Zhu et al., 2023)(Ighravwe & Oke, 2019; Jaafaru & Agbelie, 2022; Moghtadernejad et al., 2019; Tan et al., 2021; Uzair & Ali Abbas Kazmi, 2023; M. Van Nguyen, 2023; Zhang & Pan, 2021)	27
Riesgos de Gerencia	(Blais et al., 2023; Cruz et al., 2019; Daniel et al., 2022; Fang et al., 2022; Farashah et al., 2019; Jin et al., 2023; Marzouk	12

	& Enaba, 2019; P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022; Olanrewaju et al., 2022; Sarvari et al., 2021; Sun et al., 2020; Tiruneh et al., 2020)	
Diseños	(Abdulfattah et al., 2023; Akaa et al., 2020; Hanafy, 2023; Hou et al., 2023)	4

- **OBJETIVOS DEL PROBLEMA**

Descripción	Referencias	N° de Estudios
Aplicar	(Abdulfattah et al., 2023; Andreolli et al., 2022a; Daniel et al., 2022; Hanafy, 2023; Hou et al., 2023; Ighravwe & Oke, 2019; Jaafaru & Agbelie, 2022; Koc et al., 2022; Ma et al., 2020; Marzouk & Enaba, 2019; Moghtadernejad et al., 2019; Moretti et al., 2021; Slaton et al., 2020; Sun et al., 2020; Tan et al., 2021; Uzair & Ali Abbas Kazmi, 2023; M. Van Nguyen, 2023; Wang et al., 2023; Zamani et al., 2023; Zhang & Pan, 2021; Zhu et al., 2023)	21
Comprender	(Alirezaei et al., 2022; Ballesteros-Pérez et al., 2019; Blais et al., 2023; Costa-Carrapiço et al., 2020; Cruz et al., 2019; Farashah et al., 2019; Jin et al., 2023; Katebi et al., 2022; Khoshnava et al., 2020; Meshref et al., 2023; Ngo et al., 2022; P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022; Nikulina et al., 2022; Olanrewaju et al., 2022; Sarvari et al., 2021; Tiruneh et al., 2020)	16
Analizar	(Celik & Gul, 2021; Fang et al., 2022; Piroozfar et al., 2019; Rausch et al., 2019)	4
Evaluar	(Akaa et al., 2020; Shahpari et al., 2020)	2

- **TIPOS DE PROBLEMA**

Descripción	Referencias	N° de Estudios
Productividad	(Ballesteros-Pérez et al., 2019; Daniel et al., 2022; Farashah et al., 2019; Hanafy, 2023; Ighravwe & Oke, 2019; Jaafaru & Agbelie, 2022; Jin et al., 2023; Katebi et al., 2022; Ma et al., 2020; Moghtadernejad et al., 2019; Nikulina	20

	et al., 2022; Piroozfar et al., 2019; Rausch et al., 2019; Shahpari et al., 2020; Slaton et al., 2020; Tiruneh et al., 2020; Uzair & Ali Abbas Kazmi, 2023; M. Van Nguyen, 2023; Zamani et al., 2023; Zhang & Pan, 2021)	
Evaluación de Riesgo	(Abdulfattah et al., 2023; Akaa et al., 2020; Alirezaei et al., 2022; Andreolli et al., 2022a; Blais et al., 2023; Cruz et al., 2019; Fang et al., 2022; Hou et al., 2023; P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022; Sarvari et al., 2021; Wang et al., 2023)	11
Datos	(Costa-Carrapiço et al., 2020; Marzouk & Enaba, 2019; Meshref et al., 2023; Moretti et al., 2021; Ngo et al., 2022; Olanrewaju et al., 2022; Sun et al., 2020; Tan et al., 2021)	8
Seguridad	(Celik & Gul, 2021; Khoshnava et al., 2020; Koc et al., 2022; Zhu et al., 2023)	4

5.3.1.2 PC2 ¿Define un método de análisis decisional o propone alguna estrategia para la mitigación del riesgo en la construcción?

Para responder a esta pregunta, se analizaron los 43 artículos en búsqueda de su enfoque y desarrollo metodológico de investigación, asociados a las Características de la Investigación, en la que se organizan las investigaciones según su Método, Modelos, Instrumentos y Conceptos (***Tabla 5:*** *criterios para la clasificación de Investigaciones*). Y los cuales se pueden ver en (***Ilustración 17***)

- Método: Métodos Cuantitativos, Método Cualitativo, Método Mixto.
- Modelos: Decisional, Híbridos, Analíticos, Simulaciones, Análogos
- Instrumento: Entrevistas, Observaciones, Revisión Sistemática, Experimentos, Base de Datos.
- Conceptos: Productividad, Gestión de Riesgo, Toma de decisiones, Optimización, Planeación.

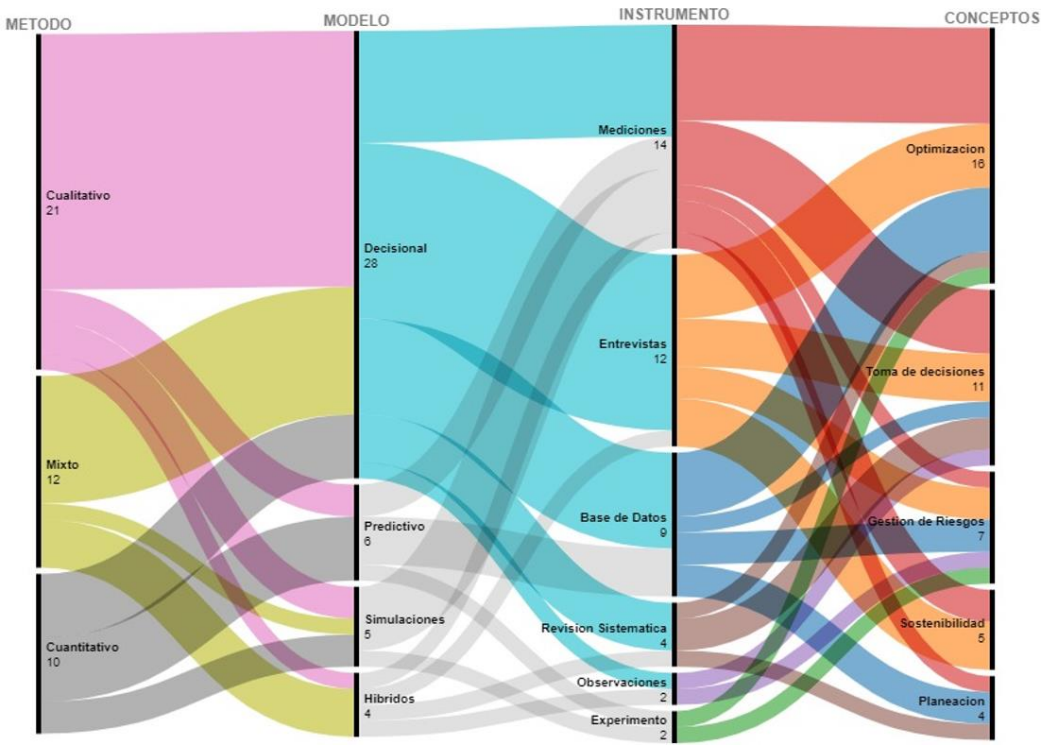


Ilustración 17: *Diagrama aluvial de los métodos, modelos, instrumentos y conceptos de las investigaciones*

Fuente: *Elaboración Propia*

MÉTODO

Descripción	Referencias	N° de Estudios
Cualitativo	(Alirezaei et al., 2022; Ballesteros-Pérez et al., 2019; Blais et al., 2023; Costa-Carrapiço et al., 2020; Cruz et al., 2019; Daniel et al., 2022; Fang et al., 2022; Farashah et al., 2019; Hanafy, 2023; Hou et al., 2023; Jin et al., 2023; Khoshnava et al., 2020; Marzouk & Enaba, 2019; Meshref et al., 2023; Moghtadernejad et al., 2019; Nikulina et al., 2022; Olanrewaju et al., 2022; Piroozfar et al., 2019; Tiruneh et al., 2020; M. Van Nguyen, 2023; Wang et al., 2023)	21
Mixto	(Akaa et al., 2020; Andreolli et al., 2022a; Ighravwe & Oke, 2019; Jaafaru & Agbelie, 2022; Ma et al., 2020; P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022; Sarvari et al., 2021; Shahpari et al., 2020; Slaton et al.,	12

	2020; Sun et al., 2020; Uzair & Ali Abbas Kazmi, 2023; Zhang & Pan, 2021)	
Cuantitativo	(Abdulfattah et al., 2023; Celik & Gul, 2021; Katebi et al., 2022; Koc et al., 2022; Moretti et al., 2021; Ngo et al., 2022; Rausch et al., 2019; Tan et al., 2021; Zamani et al., 2023; Zhu et al., 2023)	10

MODELO

Descripción	Referencias	N° de Estudios
Decisional	(Alirezaei et al., 2022; Andreolli et al., 2022a; Blais et al., 2023; Celik & Gul, 2021; Costa-Carrapiço et al., 2020; Cruz et al., 2019; Farashah et al., 2019; Hou et al., 2023; Ighravwe & Oke, 2019; Jaafaru & Agbelie, 2022; Jin et al., 2023; Katebi et al., 2022; Khoshnava et al., 2020; Ma et al., 2020; Marzouk & Enaba, 2019; Meshref et al., 2023; Moghtadernejad et al., 2019; Moretti et al., 2021; Nikulina et al., 2022; Olanrewaju et al., 2022; Piroozfar et al., 2019; Sarvari et al., 2021; Sun et al., 2020; Tan et al., 2021; Tiruneh et al., 2020; Uzair & Ali Abbas Kazmi, 2023; M. Van Nguyen, 2023; Zhang & Pan, 2021)	28
Predictivo	(Abdulfattah et al., 2023; Ballesteros-Pérez et al., 2019; Koc et al., 2022; Ngo et al., 2022; Rausch et al., 2019; Wang et al., 2023)	6
Simulaciones	(Fang et al., 2022; Hanafy, 2023; Slaton et al., 2020; Zamani et al., 2023; Zhu et al., 2023)	5
Híbridos	(Akaa et al., 2020; Daniel et al., 2022; P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022; Shahpari et al., 2020)	4

INSTRUMENTO

Descripción	Referencias	N° de Estudios
Mediciones	(Abdulfattah et al., 2023; Alirezaei et al., 2022; Andreolli et al., 2022a; Fang et al., 2022; Ighravwe & Oke, 2019; Meshref et al., 2023; Rausch et al., 2019; Shahpari et al., 2020; Slaton et al., 2020; Tan et al., 2021; Uzair & Ali Abbas Kazmi, 2023; Zamani et al., 2023; Zhang & Pan, 2021; Zhu et al., 2023)	14
Entrevistas	(Akaa et al., 2020; Farashah et al., 2019; Hou et al., 2023; Jaafaru & Agbelie, 2022; Katebi et al., 2022; Khoshnava et al., 2020; Moghtadernejad et al., 2019; Nikulina et al., 2022; Olanrewaju et al., 2022; Piroozfar et al., 2019; Sarvari et al., 2021; M. Van Nguyen, 2023)	12
Bases de datos	(Ballesteros-Pérez et al., 2019; Blais et al., 2023; Jin et al., 2023; Koc et al., 2022; Ma et al., 2020; Marzouk & Enaba, 2019; Moretti et al., 2021; Ngo et al., 2022; Sun et al., 2020)	9
Revisión Sistemática	(Costa-Carrapiço et al., 2020; Cruz et al., 2019; P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022; Tiruneh et al., 2020)	4
Observaciones	(Celik & Gul, 2021; Daniel et al., 2022)	2
Experimento	(Hanafy, 2023; Wang et al., 2023)	2

CONCEPTOS

Descripción	Referencias	N° de Estudios
Optimización	(Abdulfattah et al., 2023; Alirezaei et al., 2022; Costa-Carrapiço et al., 2020; Fang et al., 2022; Hanafy, 2023; Jaafaru & Agbelie, 2022; Katebi et al., 2022; Ma et al., 2020; Marzouk & Enaba, 2019; Meshref et al., 2023; Moretti et al., 2021; Nikulina et al., 2022; Piroozfar et al., 2019; Rausch et al., 2019; Slaton et al., 2020; Sun et al., 2020)	16

Toma de decisiones	(Akaa et al., 2020; Andreolli et al., 2022a; Blais et al., 2023; Daniel et al., 2022; Farashah et al., 2019; P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022; Olanrewaju et al., 2022; Shahpari et al., 2020; Tan et al., 2021; Tiruneh et al., 2020; Zamani et al., 2023)	11
Gestión de riesgo	(Ballesteros-Pérez et al., 2019; Celik & Gul, 2021; Khoshnava et al., 2020; Koc et al., 2022; Sarvari et al., 2021; Zhu et al., 2023)	7
Sostenibilidad	(Hou et al., 2023; Ighravwe & Oke, 2019; Moghtadernejad et al., 2019; Uzair & Ali Abbas Kazmi, 2023; M. Van Nguyen, 2023)	5
Planeación	(Cruz et al., 2019; Jin et al., 2023; Ngo et al., 2022; Zhang & Pan, 2021)	4

5.3.2 Atributos de Investigación:

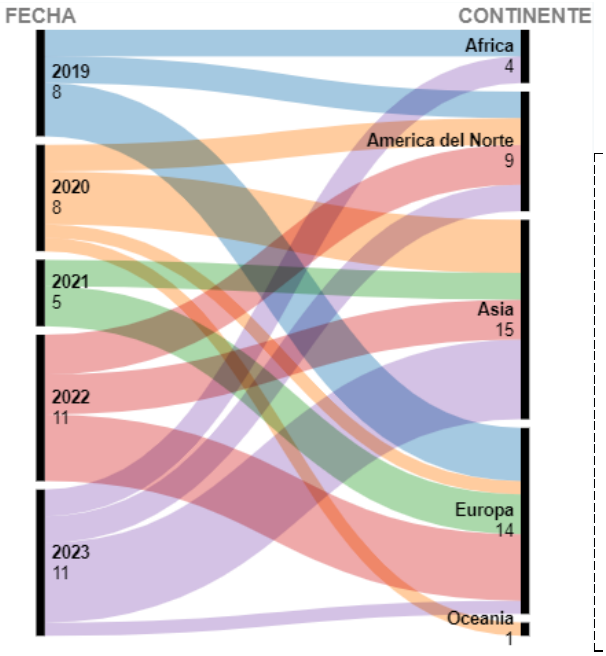
En esta sección se debe clasificar la información de las 43 investigaciones, según su atributo, Tal y como se puede ver en (***Tabla 5***):

Distribución espacial de Investigaciones respecto a cada continente y país.			
CONTINENTE	**PAIS**	**CANTIDAD**	**% PAPER**
ASIA	China	4	9%
	Corea Sur	1	2%
	Irán	5	12%
	Malasia	2	5%
	Pakistan	1	2%
	Vietnan	1	2%
EUROPA	España	2	5%
	Francia	1	2%
	Inglaterra	5	12%
	Italia	2	5%
	P. Bajos	1	2%
	Portugal	1	2%
	Suecia	1	2%
	Turquia	2	5%
AMERICA NORTE	Canadá	5	12%
	EEUU	4	9%
AFRFICA	Egipto	3	7%
	Nigeria	1	2%
OCENANIA	N. Zelanda	1	2%

Ilustración 18: *Distribución espacial de las investigaciones relacionadas con el tema de la Productividad, Riesgos y Problemas Decisionales*

Fuente: *Elaboración propia.*

- Año: Fecha de publicación
- Ubicación: País y continente donde se desarrolla la investigación.
- Fuente: Nombre de la revista que publica la investigación.
- Citaciones: Es la métrica que permite identificar en cuantos artículos ha sido mencionado el artículo de investigación.
- Capturas: Es la métrica que permite identificar cuantas veces ha sido descargado el artículo para ser leído y analizado su información.
- Universidad: Es la institución donde se desarrolla la investigación.
- Discusiones: Son los comentarios más relevantes de la investigación (a criterio del lector) que permiten iniciar una discusión con el autor.



Distribucion de Año y Continente			
AÑO	CONTINENTE	CANTIDAD	% PAPERS
2019	EUROPA	4	11%
	AFRICA	2	
	AMERICA NORTE	2	
2020	AMERICA NORTE	2	11%
	ASIA	4	
	OCEANIA	1	
	EUROPA	1	
2021	ASIA	3	7%
	EUROPA	2	
2022	AMERICA NORTE	3	16%
	ASIA	3	
	EUROPA	5	
2023	AFRICA	2	16%
	AMERICA NORTE	2	
	ASIA	5	
	EUROPA	2	

Ilustración 19: *Distribución temporal de las investigaciones relacionadas con el tema de la Productividad, Riesgos y Problemas Decisionales*

Fuente: *Elaboración propia.*

5.4 Resultados y Discusión:

El alcance de esta sección es poder responder la pregunta de investigación RQ1, usando las Preguntas PC1 y PC2, que nos orientaron para la extracción de datos a partir de la clasificación de los criterios para la clasificación de investigaciones (***Ilustración 20:*** *Flujograma de desarrollo del mapeo sistemático*).

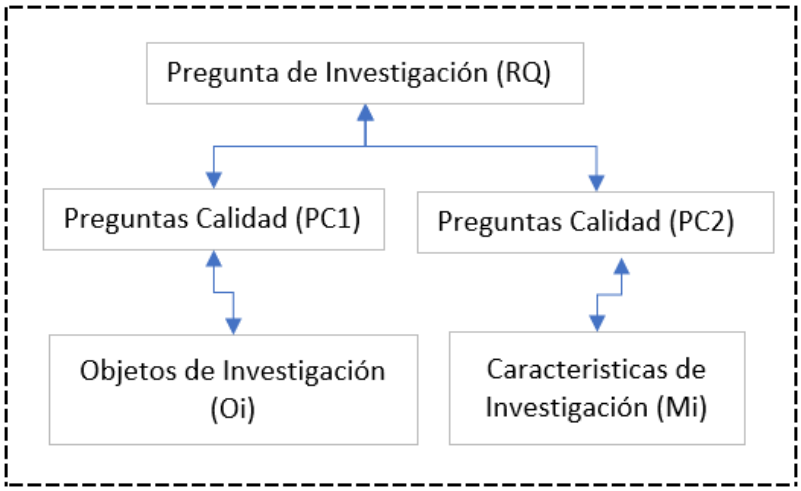


Ilustración 20: *Flujograma de desarrollo del mapeo sistemático*

Fuente: *Elaboración propia.*

Según el (***Ilustración 20***), el propósito es primero responder y discutir las PC1 y PC2, y sobre los resultados obtenidos, poder responder a la RQ1.

5.4.1 A partir de los objetivos de estudio PC1

5.4.1.1 Objetos del Problema: Para los resultados obtenidos, se identifica que 27 de los 43 artículos, investigan objetos relacionados con procesos Constructivos, es decir, 63% de los artículos de investigación abordan como objeto de estudio algún proceso constructivo. Este resultado indica que hay una búsqueda por resolver problemas dentro de las construcciones y que hay una necesidad predominante de investigar los procesos constructivos.

Discusión:

Para, (Costa-Carrapiço et al., 2020) con una métrica de 97 citaciones en diferentes artículos, propone que, se deben apropiar métodos novedosos de para la toma de decisiones, para permitir la modernización de sistemas constructivos y así mejorar la sostenibilidad y el rendimiento energético.

Para, (Ighravwe & Oke, 2019) con una métrica de 84 citaciones en diferentes investigaciones, propone como seleccionar una estrategia de mantenimiento adecuada para edificios públicos mediante el uso de nuevos modelos de toma de decisiones multicriterio, con el propósito de validar su idoneidad en prácticas sostenibles.

Y Para, (Tan et al., 2021) con una métrica de 93 citaciones, indica que, la integración de la información de construcción para respaldar la toma de decisiones ha sido un desafío clave en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC).

En las 3 investigaciones más citadas, se evidencia una clara necesidad de repensar desde muchos criterios el objeto de construcción, en búsqueda de mejorar la productividad.

5.4.1.2 Objetivos del Problema: Para los resultados obtenidos, se identifica que 21 de los 43 artículos, tienen como objetivos de su problema Aplicar como una estrategia para desarrollar sus investigaciones. Es decir, el 49% de las investigaciones, utilizan como estrategia de respuesta a su pregunta de investigación, la aplicación de alguna estrategia, lo que puede inferir esto, es que hay una búsqueda de formas diferentes de hacer las cosas en la construcción

Para, (Ma et al., 2020), con una métrica de 59 citaciones, comprueba que, los resultados muestran que la aplicación de 3 tecnologías reduce el costo de mano de obra y disminuye las dificultades de toma de decisiones sobre el mantenimiento de los equipos en construcción.

Para (Slaton et al., 2020), con una métrica de 66 citaciones, concluye que, Los hallazgos de este estudio por medio de un modelo híbrido, pueden ser aprovechados por investigadores y profesionales de la industria de la construcción, para desarrollar sistemas confiables de reconocimiento de actividad automatizados para rastrear y monitorear el rendimiento de los equipos y para medir la productividad y la eficiencia del trabajo realizado.

Para (Marzouk & Enaba, 2019), con una métrica de 59 citaciones, concluye que, Este estudio amplía el conocimiento existente al proponer una metodología de minería de textos, para extraer patrones significativos de los datos de los proyectos de construcción.

Se evidencia, en las investigaciones mencionadas, que la búsqueda de métodos para ser probados en casos particulares aporta en la búsqueda de refinamiento de los procesos constructivos y mejora la productividad.

5.4.1.3 Tipo de Problema: Para los resultados obtenidos, se identifica que 20 de los 43 artículos de investigación, tienen como característica en su problema, temas asociados a la productividad. Es decir, el 47% de los artículos enfocan su investigación en desarrollar propuestas para temas asociados a la productividad.

Para, (Piroozfar et al., 2019), con una métrica de 65 citaciones, justifica que, si se superan las barreras de las Entregas Integradas de Proyectos (IPD), se podrían mejorar los rendimientos de la construcción en términos de costo, tiempo, eficiencia y productividad en el Reino Unido.

Para, (Rausch et al., 2019), con una métrica de 54 citaciones, considera que, a medida que las nuevas tecnologías continúan surgiendo y progresando dentro de la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC), se está volviendo preferible superar los desafíos técnicos mediante el uso de herramientas virtuales y técnicas de simulación, todo con el propósito de mejorar la productividad.

Para, (Shahpari et al., 2020), con una métrica de 44 citaciones, expone que, hay poco interés en la prefabricación en las industrias de la construcción de los países en desarrollo, a pesar de todas sus ventajas. El principal desafío se remonta al bajo nivel de conocimiento y creencias erróneas sobre la productividad de los sistemas constructivos prefabricados en comparación con los convencionales.

Se evidencia que, en las investigaciones mencionadas sobre el tema de la productividad, la construcción tiene un rezago en la implementación de métodos y estrategias modernas que lo posicionan en las industrias más rezagadas que, según la OCDE, el sector de la construcción solo está por encima del sector agrícola.(McKinsey Global Institute, 2017)

5.4.2 A partir de las características de Investigación PC2

5.4.2.1 Método: En los resultados obtenidos, se identifica que 21 de las 43 investigaciones, tienen como método el cualitativo para obtener la información sus trabajos., es decir, que el 49% de las investigaciones, utiliza la información cualitativa para producir conocimiento.

Para, (Marzouk & Enaba, 2019), utiliza la información de los contratos para, realizar análisis de texto para la correspondencia del proyecto, para comprender la naturaleza y el sentimiento de la comunicación entre las partes del proyecto.

Para, (Farashah et al., 2019), su modelo cualitativo conceptual se probó utilizando el Modelo de Ecuaciones Estructurales (SEM), para aumentar la eficiencia del proceso de selección de personal para los proyectos de construcción.

Para, (Piroozfar et al., 2019), el método cualitativo sirvió de apoyo para, medir la percepción de los expertos de la industria sobre las barreras para la implementación y adopción de BIM y las barreras a lo que constituyen los principios de IPD basados en lo que se ha encontrado en la literatura.

Se logra identificar que, en las investigaciones mencionadas, hay un uso del método cualitativo para lograr obtener un paquete de datos, que sirven de insumo para generar análisis de fenómenos que no han sido medidos o identificados previamente.

5.4.2.2 Modelo: En los resultados obtenidos, se identifica que 28 de las 43 investigaciones, utilizan un modelo de análisis decisional para desarrollar parte de la metodología de la investigación. Es decir, el 65% de las investigaciones, utiliza un modelo de análisis decisional como técnica para desarrollar el “como hacer” de sus investigaciones.

Para, (Tan et al., 2021), El éxito de los proyectos de construcción depende en gran medida de la toma de decisiones. Las decisiones son juicios basados en información, y una información de mala calidad inevitablemente resulta en una mala toma de decisiones.

Para, (Ighravwe & Oke, 2019), El mantenimiento de los edificios públicos se asocia a un gasto considerable, pero la intuición sigue estando a la orden del día en los edificios públicos. En consecuencia, los edificios públicos incurren continuamente en costos elevados de operación y mantenimiento de edificios. Sin embargo, los métodos científicos para determinar qué política de mantenimiento adoptar para los edificios públicos aún no se han reportado en la literatura. La consecuencia de esto es que se pierde un costo sustancial anualmente debido a la elección incorrecta de las estrategias de mantenimiento de los edificios. Por lo tanto, es importante desarrollar métodos científicos para guiar la toma de decisiones y la sostenibilidad de la construcción pública. Esta brecha ha sido reconocida en la investigación actual y se ha perseguido rigurosamente con el uso de

nuevos modelos de decisión multicriterio, ya que muchos criterios están involucrados en este problema.

Para, (Zhang & Pan, 2021), llenar las muchas lagunas de conocimiento y abordar los problemas prácticos, implica que un estudio desarrolle un nuevo marco de toma de decisiones multicriterio para que los contratistas principales seleccionen el plan de diseño óptimo de la grúa torre en proyectos de Construcción Modular Integral de gran altura.

Se logra identificar que, en las investigaciones mencionadas, se requieren del uso de modelos de análisis decisional para resolver problemas frecuentes en la construcción, debido muchas veces a la cantidad de criterios que involucra tomar la mejor decisión. Se hace mención de que el riesgo en la toma de decisiones implica sofisticar un método que apoye y respalde a quienes deben asumir la responsabilidad de decidir en los proyectos de construcción.

5.4.2.4 Conceptos: En los resultados Obtenidos, se identifica que 16 de los 43 artículos de investigación usan como parte de sus categorías más común, el concepto de optimización. Es decir que el 37% de los artículos de investigación, usan la idea optimización en sus investigaciones.

Para, (Jaafaru & Agbelie, 2022), como propuesta de optimización, propone maximizar el nivel de condiciones de rendimiento de una red de puentes y disminuir los costos de mantenimiento mediante la planificación adecuada de los tratamientos de mantenimiento, partiendo de la necesidad de ayudar a los ingenieros a evaluar y mantener puentes mediante el desarrollo de un marco integral de planificación de mantenimiento de puentes (BMPF) dentro de las limitaciones financieras y de rendimiento.

Para, (Moretti et al., 2021), como proceso de optimización, se demuestra el poder de la integración de datos BIM, GIS y CA para proporcionar a los gestores de activos una toma de decisiones basada en la localización, destacando en particular la oportunidad de utilizar este enfoque para mejorar la eficiencia de los procesos de captura de estudios de estado y las tareas de gestión y análisis de información resultantes.

Para, (Abdulfattah et al., 2023), La aplicación del modelo Building Information Modeling (BIM) demuestra que las implicaciones de los cambios de diseño se pueden predecir

mucho antes y, por lo tanto, los impactos en el tiempo y los costos se pueden comprender mejor para formar la toma de decisiones

5.5 Respuesta a la pregunta de investigación RQ1:

> RQ1: ¿Es posible proponer un modelo decisional para una práctica gerencial en la que se requiera tomar decisiones multicriterio, que mejore la productividad y apoye en la gestión del riesgo en el sector de la construcción, para una constructora que presta sus servicios de gerencia técnica a proyectos de construcción, aplicando algún método de Análisis Decisional, a un caso particular de un proyecto industrial de una planta de aguacates en fase de diseño que actualmente gerencia la constructora?

Luego de realizar el mapeo sistemático, se puede ahora responder a la pregunta de investigación RQ1, presentando la respuesta a partir de los 3 conceptos iniciales con los que se acotó el proyecto de investigación:

5.5.1 Productividad:

Se evidencia que alrededor del **90%** de las investigaciones objeto de análisis, exponen en sus argumentos problemas asociados a la productividad (Planeación, Optimización, Gestión). Se indica una necesidad por mejorar procesos y sofisticarlos para mejorar, costos, eficiencias, tiempos, reprocesos.

5.5.2 Gestión de Riesgo:

Se evidencia que, entre las investigaciones revisadas, alrededor del **70%** de los problemas y enfoques, se asocian a temas relacionados con el riesgo. Se identifican amenazas y oportunidades, que orientan al sector a un desarrollo sostenible desde una mirada gerencial y ambiental. Hay una latente preocupación por reducir los riesgos, estudiando las amenazas.

5.5.3 Análisis decisional:

Se evidencia que el **91%** de las investigaciones objeto de análisis este mapeo sistemático, utilizan o proponen desarrollar un modelo de análisis decisional (Modelos y Conceptos), que permita contener los criterios mas relevantes para la toma de decisiones en determinados procesos.

Respuesta final: **Si**, es pertinente proponer un modelo decisional que apoye las practicas gerenciales, que apoye la gestión de riesgo de una constructora, y es igualmente pertinente que ese modelo decisional se proponga utilizando un método que pueda ser aplicado a muchas situaciones de carácter decisional en la constructora.

6. RELACIONAMIENTO DE MODELOS.

6.1 Métodos, modelos y prácticas gerenciales aplicadas para la mitigación del riesgo competitivo y la eficiencia operativa de los sistemas de construcción.

La gestión eficiente del riesgo y la mejora de la ejecución in situ son aspectos cruciales para los proyectos de construcción. Estrategias como Design Strategies y Designing Out Waste se centran en la reducción de residuos durante la fase de diseño, enfatizando la estandarización, el uso de la tecnología BIM y la documentación exhaustiva para minimizar los errores (Meshref et al., 2023). Además, la integración de tecnologías como BIM y AR puede mejorar la gestión de riesgos del proyecto al identificar riesgos, mejorar la comunicación y prevenir la pérdida de información, lo que en última instancia conduce a una mejor eficiencia y mitigación de riesgos (Alirezaei et al., 2022). Además, las lecciones aprendidas de las prácticas de gestión de riesgos destacan la necesidad de que las empresas implementen más acciones para la gestión de riesgos, asignen impactos cuantitativos a los riesgos y mantengan registros de riesgos integrales para mejorar las estrategias de mitigación de riesgos (Bonilla et al., 2018). Al combinar estrategias eficientes de reducción de residuos durante el diseño con tecnologías avanzadas de gestión de riesgos, los proyectos de construcción pueden lograr una mayor eficiencia y mejores resultados de mitigación de riesgos.

El análisis de toma de decisiones juega un papel crucial en la mitigación del riesgo al proporcionar marcos estructurados para evaluar alternativas y priorizar acciones basadas en diversos criterios (Jaafaru & Agbelie, 2022). Los métodos de Análisis de Decisiones Multi Criterio (MCDA) como el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y la Teoría de Utilidad Multi-Atributo (MAUT) ofrecen a los tomadores de decisiones la capacidad de clasificar alternativas en función de sus preferencias y objetivos, considerando incertidumbres y factores subjetivos (Zhang & Pan, 2021). Además, la integración de tecnologías como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el Modelado de Información de

Construcción (BIM) y el Sistema de Información Geográfica (GIS) permite procesos de toma de decisiones basados en datos, reduciendo los costos laborales y mejorando la eficiencia de las decisiones de mantenimiento en entornos complejos como parques empresariales o campus universitarios (Ma et al., 2020) . Al utilizar modelos cuantitativos, simulaciones de Montecarlo y algoritmos avanzados como Algoritmo Genético (GA) y Algoritmo de Colonia de Hormigas (ACA), los tomadores de decisiones pueden tomar decisiones informadas que minimicen los riesgos y optimicen las estrategias de mantenimiento (Ma et al., 2020).

En la industria en general y particularmente de la construcción, se emplean varios modelos y prácticas gerenciales para mitigar el riesgo competitivo y mejorar la eficiencia operativa. A continuación, se detallan algunos de los enfoques más relevantes. Tal y como se puede ver en (***Tabla 6***):

6.1.1. Lean Construction

Para (Ballard & Howell, 2003). El Lean Construction es un enfoque adaptado del sistema Lean Manufacturing, que se centra en minimizar los desperdicios y maximizar el valor en los procesos de construcción. Este método busca eliminar actividades que no agregan valor mediante la optimización de recursos y una planificación detallada. En términos de mitigación del riesgo competitivo, Lean Construction permite que las empresas se mantengan competitivas mediante la mejora continua y la reducción de costos, al mismo tiempo que optimiza el uso de los recursos en todas las etapas del proyecto.

Desde la perspectiva de la eficiencia operativa (Ballard & Howell, 2003), Lean Construction promueve una mayor colaboración y transparencia entre los equipos, lo que reduce los errores y retrabajos. Este enfoque se enfoca en planificar detalladamente las actividades del proyecto, optimizando las operaciones diarias y eliminando actividades innecesarias. La capacidad de responder con flexibilidad a los desafíos que surgen durante la ejecución del proyecto es uno de los beneficios clave, lo que, en última instancia, mejora los resultados generales del proyecto.

6.1.2 Building Information Modeling (BIM)

Para (Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. 2008), el Building Information Modeling (BIM) es una metodología digital que genera y gestiona representaciones virtuales de las características físicas y funcionales de un proyecto de construcción. En términos de mitigación del riesgo competitivo, BIM mejora la comunicación y colaboración entre los diversos actores del proyecto, facilitando la detección temprana de errores y optimizando la toma de decisiones. Al centralizar la información y permitir la visualización y simulación previas a la construcción, se reduce el riesgo de conflictos y se optimizan las soluciones en el diseño y ejecución.

En cuanto a la eficiencia operativa (Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. 2008), BIM permite que los proyectos sean más precisos y eficientes al simular escenarios antes de la construcción, reduciendo significativamente los tiempos de ejecución. La capacidad de prever y corregir problemas potenciales en las primeras etapas contribuye a minimizar el desperdicio de recursos y mejorar la utilización de materiales, lo que resulta en un proyecto más eficiente y con menos costos adicionales imprevistos.

6.1.3 Gestión de la Cadena de Suministro (SCM)

Para (Mentzer, J. et al, (2001). La Gestión de la Cadena de Suministro (SCM) implica la gestión eficiente de los flujos de bienes, información y finanzas a lo largo del proceso de construcción. Este enfoque ayuda a mitigar el riesgo competitivo al mejorar la capacidad de respuesta de las empresas ante las fluctuaciones del mercado y la demanda, además de reducir los riesgos asociados con el suministro de materiales y servicios. Al garantizar la disponibilidad de los recursos correctos en el momento adecuado, SCM mejora la competitividad de las empresas en un entorno de mercado volátil.

Desde la perspectiva de la eficiencia operativa (Mentzer, J. et al, (2001), SCM optimiza los flujos de materiales y reduce los costos mediante la sincronización efectiva de las actividades logísticas y una mejor gestión de inventarios. La optimización del proceso de suministro permite que los proyectos mantengan un ritmo de construcción constante,

reduciendo los tiempos de espera y evitando interrupciones en el flujo de trabajo, lo que se traduce en una ejecución más eficiente y menos costosa.

6.1. 4. Gestión de Riesgos

Para (Hillson, D. 2003). La Gestión de Riesgos es un proceso sistemático utilizado para identificar, evaluar y priorizar los riesgos, seguido de la aplicación de recursos para minimizar o controlar su impacto. En términos de mitigación del riesgo competitivo, este enfoque permite a las empresas anticiparse y responder proactivamente a los riesgos potenciales, incluidos cambios en el mercado o en la normativa, lo que reduce la posibilidad de eventos inesperados que podrían afectar negativamente el proyecto.

En cuanto a la eficiencia operativa (Hillson, D. 2003), la Gestión de Riesgos evita interrupciones y costos inesperados al mantener un control riguroso sobre posibles contingencias. Esto permite que los proyectos se ejecuten de manera más fluida y con menos desviaciones, lo que a su vez aumenta la confianza de los stakeholders y mejora el rendimiento del proyecto en términos de tiempo y costos, brindando una mayor previsibilidad en los resultados.

6.1.5 Six Sigma

Para (Pande, P. S. et al. 2000). El enfoque de Six Sigma se basa en mejorar la calidad y reducir la variabilidad en los procesos, utilizando metodologías específicas para identificar y eliminar defectos. En cuanto a la mitigación del riesgo competitivo, Six Sigma mejora la calidad del producto final, lo que incrementa la reputación de la empresa y su capacidad para competir en mercados exigentes. Este enfoque metodológico asegura que los productos y servicios cumplan consistentemente con los estándares de calidad, lo que se traduce en una ventaja competitiva.

Desde la perspectiva de la eficiencia operativa (Pande, P. S. et al. 2000) , Six Sigma ayuda a reducir errores y defectos en los procesos, lo que disminuye el retrabajo y los costos asociados. Al eliminar variaciones y mejorar la consistencia de los resultados, las

empresas pueden alcanzar mayores niveles de eficiencia y productividad, lo que se refleja en un menor tiempo de ejecución y una reducción significativa de los costos operativos.

6.1.6 Benchmarking

Para (Camp, R. C. 1989). El Benchmarking es la práctica de comparar los procesos, prácticas y métricas de una empresa con las de las mejores en su industria, con el objetivo de identificar áreas de mejora. En cuanto a la mitigación del riesgo competitivo, el Benchmarking permite a las empresas identificar las mejores prácticas del sector, lo que les permite mantenerse a la vanguardia y adoptar estrategias que aumenten su competitividad en el mercado.

En términos de eficiencia operativa (Camp, R. C. 1989), el Benchmarking implementa mejoras continuas mediante la comparación del rendimiento operativo con el de los líderes del sector. Esto ayuda a las empresas a realizar ajustes estratégicos y tácticos en sus operaciones, optimizando sus procesos para alcanzar niveles de desempeño más altos, lo que resulta en una ejecución más eficiente y efectiva.

6.1.7 Value Engineering (Ingeniería de Valor) (Kelley, J. C. et al. 1992).

Para (Kelley, J. C. et al. 1992). La Ingeniería de Valor es un enfoque orientado a mejorar el valor de un proyecto al analizar sus funciones y buscar formas de lograr los mismos resultados con un costo menor. En cuanto a la mitigación del riesgo competitivo, la Ingeniería de Valor permite ofrecer proyectos de alta calidad a precios más competitivos, lo que ayuda a las empresas a destacar en el mercado y captar la atención de los clientes al optimizar la relación costo-beneficio.

En términos de eficiencia operativa (Kelley, J. C. et al. 1992), este enfoque identifica oportunidades de ahorro y mejora la utilización de los recursos sin comprometer la calidad del proyecto. Al centrarse en la eficiencia y el costo óptimo, las empresas pueden mejorar significativamente sus resultados financieros y operativos, asegurando la sostenibilidad y el éxito a largo plazo del proyecto.

6.1.8 Integrated Project Delivery (IPD) (AIA. 2007).

Para (AIA. 2007). El Integrated Project Delivery (IPD) es un enfoque colaborativo en el que todos los principales actores del proyecto comparten los riesgos y beneficios del mismo. En cuanto a la mitigación del riesgo competitivo, IPD mejora la coordinación entre las partes interesadas, lo que reduce conflictos y promueve una mayor alineación en los objetivos, generando así una ventaja competitiva al reducir el riesgo de malentendidos y retrasos.

En cuanto a la eficiencia operativa (AIA. 2007), IPD promueve la eficiencia al alinear los intereses de todos los participantes del proyecto hacia un objetivo común. Esto mejora la comunicación, reduce la duplicación de esfuerzos y optimiza los resultados al involucrar a todas las partes en las decisiones clave, lo que conduce a una ejecución más fluida y eficiente del proyecto.

Los métodos y prácticas gerenciales como Lean Construction, BIM, Gestión de la Cadena de Suministro (SCM), Gestión de Riesgos, Six Sigma, Benchmarking, Ingeniería de Valor (Value Engineering) y Integrated Project Delivery (IPD) comparten el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y mitigar el riesgo competitivo en la construcción. Lean Construction y SCM optimizan los recursos y flujos de trabajo, mientras que BIM mejora la comunicación y precisión. La Gestión de Riesgos y Six Sigma reducen la incertidumbre y la variabilidad en los procesos, incrementando la calidad. Benchmarking y la Ingeniería de Valor permiten implementar mejores prácticas y soluciones costo-efectivas, y IPD fomenta la colaboración entre los actores del proyecto para maximizar resultados. Todos estos enfoques contribuyen a la reducción de costos, mejora de la calidad y mayor competitividad en el sector. A continuación, en la (***Tabla 6***) se muestra un resumen claro de las propiedades de la mitigación del riesgo competitivo, la eficiencia operativa y la aplicación principal de cada uno de los modelos gerenciales objeto de este análisis.

Método/Modelo/Práctica	Mitigación del Riesgo Competitivo	Eficiencia Operativa	Aplicación Principal
Lean Construction	Reducción de costos y mejora continua	Eliminación de desperdicios y optimización	Proyectos de construcción
BIM	Mejora de la comunicación y decisiones	Simulación precisa y reducción de errores	Diseño y planificación de proyectos
SCM	Mejora de la respuesta al mercado	Optimización del flujo de materiales	Gestión logística y de suministros
Gestión de Riesgos	Respuesta proactiva a contingencias	Prevención de interrupciones y costos	Planificación de proyectos
Six Sigma	Mejora de la calidad y reputación	Reducción de errores y retrabajos	Control de calidad en procesos
Benchmarking	Adopción de mejores prácticas	Implementación de mejoras continuas	Comparación de rendimiento
Value Engineering	Mejora de calidad a menor costo	Optimización de recursos	Análisis funcional de proyectos
IPD	Reducción de conflictos y mejora de coordinación	Alineación de intereses y objetivos comunes	Ejecución colaborativa de proyectos

Tabla 6: *Propiedades de los modelos gerenciales aplicados en el sector de la construcción.*
Fuente: *Elaboración propia*

6.2 Métodos de Análisis Decisional.

Los métodos de análisis de decisiones abarcan diversos enfoques como el Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA), el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y la Técnica para la Preferencia de Orden por Similitud a una Solución Ideal (TOPSIS). MCDA proporciona una forma estructurada de evaluar alternativas basadas en múltiples criterios, haciéndola adecuada para la toma de decisiones complejas (Zhang & Pan, 2021). AHP, desarrollado por Saaty, es eficaz para problemas de decisión jerárquica y ha sido ampliamente utilizado en la gestión de la construcción para la ponderación de criterios (Shahpari et al., 2020). Adicionalmente, TOPSIS tiene como objetivo encontrar soluciones óptimas considerando ideales positivos y negativos, haciéndola valiosa para los procesos de toma de decisiones (Shahpari et al., 2020). Estos métodos, junto con herramientas como el método Delphi para opiniones de expertos y DEMATEL para analizar relaciones entre criterios, contribuyen a la toma de decisiones informada en diversos campos, incluyendo la construcción y la selección de sistemas (Shahpari et al., 2020).

El análisis de decisiones implica varios componentes clave esenciales para una toma de decisiones eficaz. Estos componentes incluyen investigación, razonamiento, priorización, selección y optimización de múltiples áreas de conocimiento y grupos de procesos como costo, seguridad, calidad, riesgo y gestión de partes interesadas, como se destaca en los

trabajos de investigación (Moretti et al., 2021) (P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022). Las técnicas de análisis de decisión multicriterio (MCDA) juegan un papel crucial en la estructuración de criterios de decisión, criterios de ponderación y clasificación de alternativas, proporcionando un enfoque estructurado y transparente a problemas de decisión complejos con múltiples criterios (Zhang & Pan, 2021). Adicionalmente, la integración de técnicas híbridas difusas como la integral de Choquet en los procesos de toma de decisiones permite la agregación de criterios entrelazados, considerando interacciones entre criterios y proporcionando resultados confiables en el proceso de toma de decisiones (Moghtadernejad et al., 2019). Al incorporar estos componentes, los marcos de análisis de decisiones pueden soportar la toma de decisiones informada y basada en datos en diversos dominios y aplicaciones.

En el ámbito de la toma de decisiones, especialmente en entornos complejos y multifacéticos, los métodos de análisis decisional se han convertido en herramientas esenciales para evaluar y seleccionar las mejores alternativas. Estos métodos ayudan a los tomadores de decisiones a organizar y analizar información, ponderar opciones, y gestionar incertidumbre de manera sistemática y estructurada.

El objetivo principal de los métodos de análisis decisional es proporcionar una base racional y cuantitativa para la toma de decisiones. Al descomponer problemas complejos en partes más manejables y aplicar técnicas analíticas rigurosas, estos métodos buscan reducir la subjetividad y el riesgo asociado con la toma de decisiones, mejorando la calidad y la consistencia de las elecciones realizadas. En la (***Tabla 7***), se pueden identificar las propiedades de las herramientas decisionales.

6.2.1 Métodos Destacados

- **Proceso Analítico Jerárquico (AHP):** Descompone problemas complejos en una jerarquía de subproblemas, evaluando cada nivel por separado antes de integrarlos en una solución coherente. (Shahpari et al., 2020)
- **Técnica de Ordenación por Preferencia (TOPSIS):** Selecciona la alternativa que se encuentra más cerca de la solución ideal positiva y más lejos de la solución ideal negativa, utilizando medidas de distancia euclidiana. (Akaa et al., 2020)

- **Método PROMETHEE:** Clasifica alternativas basadas en preferencias y genera flujos positivos y negativos para ordenar las opciones de acuerdo con múltiples criterios. (Ighravwe & Oke, 2019)
- **Teoría de Juegos:** Analiza las interacciones estratégicas entre actores con objetivos potencialmente conflictivos, buscando equilibrios donde los participantes no tienen incentivos para desviarse de sus estrategias.
- **Simulación de Monte Carlo:** Utiliza simulaciones repetitivas para modelar el impacto de la incertidumbre en la toma de decisiones, proporcionando una visión de posibles resultados y riesgos. (Rausch et al., 2019)
- **Algoritmos Genéticos:** Emplea técnicas inspiradas en la evolución natural, como selección, cruce y mutación, para encontrar soluciones óptimas en grandes espacios de solución. (Jaafaru & Agbelie, 2022) (Costa-Carrapiço et al., 2020)

Método	Simplicidad	Flexibilidad	Capacidad de Manejar Incertidumbre	Aplicabilidad
AHP	Media	Alta	Baja	Selección de proyectos, evaluación de riesgos
TOPSIS	Alta	Media	Baja	Selección de proveedores, evaluación de desempeño
PROMETHEE	Media	Alta	Baja	Planificación territorial, selección de inversiones
Teoría de Juegos	Baja	Alta	Media	Negociaciones, conflictos de recursos
Monte Carlo	Media	Alta	Alta	Gestión de riesgos, finanzas
Algoritmos Genéticos	Baja	Muy Alta	Alta	Optimización de recursos, diseño de redes

Tabla 7: *Propiedades de las herramientas decisionales usadas en el sector de la construcción.*
Fuente: *Elaboración Propia.*

6.3 Relacionamiento de modelos gerenciales y métodos de análisis decisional

El riesgo juega un papel crucial en el análisis de toma de decisiones dentro del contexto de la investigación de Ingeniería y Gestión de la Construcción (CEM). La toma de decisiones en CEM implica investigar, razonar, priorizar, seleccionar y optimizar diversas áreas de conocimiento y grupos de procesos, incluyendo la gestión de riesgos (P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022). La presencia de estructuración jerárquica en los problemas de decisión permite integrar insumos de expertos para formar resultados consolidados, lo que ayuda en la evaluación y gestión de riesgos (Ighravwe & Oke, 2019). Además, las variables de decisión en los proyectos de retrofit de edificios abarcan factores

de riesgo relacionados con la envolvente del edificio, los sistemas, las tecnologías de energía renovable y las estrategias de control, destacando la importancia de considerar el riesgo en los procesos de toma de decisiones (Costa-Carrapiço et al., 2020). En última instancia, comprender y mitigar los riesgos son componentes esenciales del análisis efectivo de toma de decisiones en proyectos de construcción, asegurando resultados exitosos y desempeño del proyecto (Piroozfar et al., 2019).

La percepción del riesgo juega un papel crucial en el análisis de la toma de decisiones, influyendo en las elecciones de las personas con respecto a la adopción de tecnología y las estrategias de gestión de proyectos. Los riesgos tecnológicos percibidos, como destacan diversos estudios (Uzair & Ali Abbas Kazmi, 2023), pueden actuar como barreras significativas para la adopción de nuevas tecnologías debido a las incertidumbres y al conocimiento limitado. Adicionalmente, el uso de técnicas de Simulación Fuzzy Monte Carlo (FMCS) en la evaluación de riesgos de proyectos puede ayudar a modelar incertidumbres de manera efectiva, incluyendo variables subjetivas, impactando los resultados de la toma de decisiones (P. H. D. Nguyen & Robinson Fayek, 2022). Además, los factores perceptuales de seguridad (SPF) y los factores de condición del lugar de trabajo (WCFs) son esenciales para comprender las percepciones y preferencias de las partes interesadas relacionadas con la seguridad laboral, que pueden influir en los procesos de toma de decisiones en los proyectos de construcción (Khoshnava et al., 2020). Al considerar las percepciones de riesgo en la adopción de tecnología y la gestión de proyectos, los tomadores de decisiones pueden evaluar mejor las posibles consecuencias negativas y gestionar las incertidumbres de manera efectiva para tomar decisiones informadas.

En el ámbito de la gestión empresarial y la toma de decisiones estratégicas, la integración de modelos gerenciales y métodos de análisis decisional resulta fundamental para optimizar la eficiencia operativa y la competitividad. Ambos enfoques ofrecen herramientas y técnicas valiosas que, al ser combinadas, permiten una toma de decisiones más informada, estructurada y efectiva.

El relacionamiento entre modelos gerenciales y métodos de análisis decisional permite a una constructora adoptar un enfoque integral y bien fundamentado en la toma de decisiones. Al combinar la gestión eficaz de recursos y procesos con técnicas analíticas rigurosas, las empresas pueden alcanzar una mayor eficiencia operativa, reducir riesgos y

mejorar su capacidad de respuesta ante desafíos y oportunidades en un entorno competitivo. Tal y como se puede ver en (***Tabla 8***) y (***Tabla 9***)

Modelos Gerenciales: Se centran en la optimización de procesos y recursos mediante prácticas estructuradas y metodologías de mejora continua. Son útiles para gestionar la eficiencia operativa y calidad, pero pueden no abordar directamente la evaluación y selección de alternativas.

Métodos de Análisis Decisional: Proporcionan herramientas para evaluar alternativas y gestionar riesgos basados en análisis rigurosos y datos. Son ideales para tomar decisiones complejas y cuantificar incertidumbres, pero pueden necesitar ser complementados con enfoques de gestión para abordar la mejora operativa continua.

El siguiente cuadro comparativo indicará las diferencias y complementariedades entre los modelos gerenciales y los métodos de análisis decisional.

Aspecto	Modelos Gerenciales	Métodos de Análisis Decisional
Objetivo Principal	Optimizar la gestión de procesos, recursos y calidad.	Evaluar y seleccionar la mejor alternativa entre opciones.
Enfoque	Gestión de recursos, mejora continua, eficiencia operativa.	Evaluación de alternativas, gestión de riesgos, y toma de decisiones basada en datos.
Método de Implementación	Desarrollo de prácticas y procesos estructurados para mejorar la eficiencia.	Aplicación de técnicas analíticas para evaluar opciones y gestionar incertidumbre.
Evaluación	Mejora de procesos y reducción de desperdicios.	Comparación de alternativas en términos de criterios cuantitativos y cualitativos.
Uso Principal	Gestión operativa, optimización de procesos, calidad y recursos.	Toma de decisiones estratégicas, evaluación de riesgos y optimización de alternativas.
Características Clave	- Enfoque en la eliminación de desperdicios.	- Evaluación objetiva y cuantitativa.
	- Mejora continua.	- Manejo de incertidumbre y riesgos.
	- Coordinación y comunicación.	- Comparación de opciones.
Aplicación	Implementación en proyectos y procesos para mejorar eficiencia y reducir costos.	Utilización para seleccionar la mejor opción entre alternativas o gestionar riesgos en decisiones complejas.
Herramientas y Técnicas	- Kanban, Just-in-Time (JIT), Value Stream Mapping.	- Matrices de decisión, simulaciones, algoritmos.
	- Modelos de Gestión de Calidad Total (TQM).	- Técnicas de ponderación y comparación.
Beneficios	Mejora en la eficiencia operativa, reducción de costos, y mejora continua en la calidad.	Decisiones basadas en datos y análisis rigurosos, gestión proactiva de riesgos, y optimización de alternativas.
Limitaciones	Puede ser limitado en cuanto a la evaluación objetiva de alternativas y la gestión de incertidumbre.	Puede requerir gran cantidad de datos y suposiciones precisas, y no siempre se enfoca en la mejora operativa continua.

Tabla 8: *Diferencias y complementariedades de los modelos gerenciales y las herramientas de análisis decisional.*

Fuente: *Elaboración propia*

Relacionamiento de Modelos Gerenciales y Métodos de Análisis Decisional:

Lean Construction – Relacionado con AHP (Proceso Analítico Jerárquico)

Relación: AHP se puede usar para priorizar iniciativas Lean dentro de un proyecto de construcción, evaluando factores como el impacto en la reducción de desperdicios, la mejora de la calidad y la eficiencia operativa. Esto permite tomar decisiones jerárquicas sobre qué prácticas Lean implementar primero. Altan, E., & Işık, Z. (2023).

Building Information Modeling (BIM) – Relacionado con Monte Carlo

Relación: Monte Carlo se puede aplicar dentro de BIM para simular diversos escenarios y modelar los riesgos asociados a diferentes decisiones de diseño y construcción. Esto ayuda a mitigar los riesgos competitivos al prever posibles problemas y optimizar recursos. Smith, N. J., Merna, T., & Jobling, P. (2006).

Gestión de la Cadena de Suministro (SCM) – Relacionado con TOPSIS (Técnica de Ordenación por Preferencia)

Relación: TOPSIS se puede utilizar para seleccionar proveedores o socios de la cadena de suministro al comparar múltiples criterios, como costo, tiempo de entrega, calidad y riesgo, permitiendo una decisión óptima que mejore la eficiencia operativa Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981).

Gestión de Riesgos – Relacionado con Teoría de Juegos

Relación: La Teoría de Juegos se puede aplicar para modelar escenarios competitivos donde múltiples actores tienen intereses diferentes. En la gestión de riesgos, ayuda a anticipar las estrategias de los competidores y a mitigar el riesgo competitivo a través de decisiones estratégicas Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944).

Six Sigma – Relacionado con AHP

Relación: AHP puede ser útil en Six Sigma para priorizar proyectos de mejora basados en su impacto potencial en la eficiencia operativa, la reducción de defectos y la mejora continua. Esto facilita la selección de proyectos que maximicen el rendimiento. Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000).

Método/Modelo/Práctica	Método de Análisis Decisional	Relación y Aplicación
Lean Construction	**AHP**	Priorización de iniciativas Lean basadas en impacto y eficiencia.
BIM	**Monte Carlo**	Simulación de escenarios y mitigación de riesgos en diseño y construcción.
SCM	**TOPSIS**	Selección óptima de proveedores basada en criterios múltiples.
Gestión de Riesgos	**Teoría de Juegos**	Modelado de escenarios competitivos y toma de decisiones estratégicas.
Six Sigma	**AHP**	Priorización de proyectos de mejora continua para maximizar la eficiencia.
Benchmarking	**PROMETHEE**	Selección de mejores prácticas para mejorar competitividad y eficiencia.
Value Engineering	**AHP**	Evaluación de alternativas de diseño para maximizar el valor agregado.
IPD	**Teoría de Juegos**	Alineación estratégica de intereses en la ejecución del proyecto.

Tabla 9: *Relacionamiento de los modelos gerenciales y las herramientas de análisis decisional más usados en la construcción*

Fuente: *Elaboración propia*

Benchmarking – Relacionado con PROMETHEE

Relación: PROMETHEE se puede utilizar para ordenar y clasificar diferentes prácticas o estándares de la industria identificados a través de benchmarking, permitiendo a una empresa de construcción seleccionar las mejores prácticas para mejorar su competitividad y eficiencia. Brans, J. P., & Vincke, P. (1985).

Value Engineering (Ingeniería de Valor) – Relacionado con AHP

Relación: AHP puede ser aplicado en Ingeniería de Valor para evaluar diferentes alternativas de diseño en función de su costo, funcionalidad, y valor agregado, priorizando aquellas que maximicen el valor para el cliente y la eficiencia operativa Dell'Isola, A. J. (1997).

Integrated Project Delivery (IPD) – Relacionado con Teoría de Juegos

Relación: La Teoría de Juegos es relevante en IPD, donde diferentes actores del proyecto (arquitectos, contratistas, ingenieros) necesitan colaborar y tomar decisiones estratégicas

para alinear sus intereses. Este enfoque asegura la cooperación y la eficiencia en la ejecución del proyecto.

Una vez definidos los diversos modelos gerenciales y métodos de análisis decisional aplicables a la construcción, y establecer la relación que hay entre ellos, se pudo construir un cuadro comparativo, tal y como se puede ver en (***Tabla 9***), que facilite la orientación sobre qué herramienta utilizar en contextos decisionales específicos. Los modelos gerenciales, como Lean Construction, Building Information Modeling (BIM), Six Sigma, y la Gestión de la Cadena de Suministro (SCM), ofrecen enfoques estructurados para optimizar la eficiencia, reducir desperdicios y mejorar la calidad en los proyectos de construcción. Por otro lado, los métodos de análisis decisional, como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), la Técnica de Ordenación por Preferencia (TOPSIS), el Método PROMETHEE, y la Simulación de Monte Carlo, proporcionan herramientas analíticas para evaluar alternativas, gestionar riesgos y tomar decisiones basadas en datos. La creación de un cuadro comparativo entre estas herramientas permite identificar qué método de análisis decisional es más adecuado para cada práctica gerencial, facilitando así la selección de la herramienta más efectiva en función de las necesidades específicas del proyecto.

6.4 Método de análisis decisional AHP y modelo de gestión Value Engineering (VE) para el caso de estudio.

La elección del Proceso Analítico Jerárquico Decisional (AHP) como herramienta central en esta investigación, junto con la Ingeniería de Valor (Value Engineering), está justificada por la capacidad de facilitar la toma de decisiones complejas, estructuradas y basadas en criterios múltiples en el ámbito de la construcción.

En particular, para el estudio de caso en la planta industrial de Packing de Aguacates en el municipio de Támesis - Colombia, donde se busca definir la mejor alternativa de distribución estructural de columnas, es necesario evaluar y cuantificar simultáneamente aspectos clave como la logística, funcionalidad, costo y productividad, optimizando un aspecto fundamental para el proyecto como lo es la super estructura. El AHP se ha utilizado con éxito en evaluaciones similares, como se evidencia en el estudio aplicado a cooperativas de ahorro y crédito, donde este método permitió jerarquizar criterios relevantes en función de su impacto, minimizando la subjetividad en la evaluación (Alexander et al., 2018)

Integrar el AHP con Ingeniería de Valor amplía esta capacidad al centrarse en maximizar el valor de los proyectos, optimizando no solo los costos, sino también la funcionalidad y eficiencia operativa de las estructuras propuestas. Este enfoque es particularmente útil en el contexto competitivo de la construcción industrial, donde las decisiones sobre distribución estructural afectan tanto la eficiencia logística como la productividad del proyecto. AHP permitirá descomponer el problema en una jerarquía clara de criterios y alternativas, ponderando cada uno en función de su relevancia para los objetivos del proyecto. Al mismo tiempo, la Ingeniería de Valor asegurará que se prioricen soluciones que aporten el mayor valor agregado, optimizando el rendimiento estructural y reduciendo costos, sin comprometer la funcionalidad.

El enfoque combinado es particularmente adecuado para mitigar el riesgo competitivo, permitiendo tomar decisiones fundamentadas que aseguren la competitividad tanto de la empresa constructora como de sus clientes. Al aplicar este modelo, se anticipan mejoras en la logística y la eficiencia productiva, lo que contribuirá significativamente a posicionar a la empresa y sus partes interesadas en un entorno más competitivo y sostenible.

La combinación de AHP e Ingeniería de Valor, basada en los fundamentos teóricos de Dell'Isola (1997) y el análisis previo de Palacios Zurita & García (2016), asegura una toma de decisiones objetiva y estructurada en la distribución de columnas para la planta de Packing de Aguacates. Este enfoque busca maximizar el valor del proyecto, optimizando el costo, la funcionalidad y la productividad, y, al mismo tiempo, reduce los riesgos competitivos tanto para la empresa como para las partes interesadas. Tal y como se puede ver en (***Tabla 10***).

Criterio	AHP (Proceso Analítico Jerárquico)	Ingeniería de Valor (Value Engineering)	Justificación para el Caso de Estudio (Planta de Packing de Aguacates)
Toma de decisiones estructurada	AHP descompone problemas complejos en una jerarquía clara de criterios y alternativas, facilitando la evaluación (Saaty, 2014).	La Ingeniería de Valor se centra en optimizar el diseño al menor costo sin comprometer la funcionalidad (Dell'Isola, 1997).	AHP organiza criterios clave como logística, funcionalidad, costo y productividad, mientras que VE garantiza que se seleccione la solución más eficiente en costo-beneficio.
Evaluación multidimensional	AHP pondera múltiples criterios jerárquicamente, priorizando los más relevantes para el proyecto (Saaty, 2014).	VE maximiza el valor al mejorar las funciones de un sistema con enfoque en eficiencia y reducción de costos (Dell'Isola, 1997).	En este caso, AHP evalúa criterios como funcionalidad y costo, mientras que VE asegura que se seleccionen alternativas que maximicen la relación costo-beneficio.
Minimización de la subjetividad	AHP utiliza matrices de comparación para eliminar subjetividad y garantizar un proceso objetivo de toma de decisiones (Saaty, 2014).	VE evita decisiones basadas en suposiciones no fundamentadas mediante un análisis funcional riguroso (Dell'Isola, 1997).	La combinación de AHP y VE minimiza el sesgo subjetivo en la selección de alternativas, enfocándose en soluciones objetivas basadas en el valor funcional.
Optimización del rendimiento y costos	AHP identifica alternativas que cumplen con múltiples criterios sin priorizar exclusivamente el costo (Saaty, 2014).	VE busca reducir costos sin comprometer la calidad o funcionalidad del proyecto (Dell'Isola, 1997).	La distribución de columnas debe optimizar costos, logística y productividad. AHP evalúa todas las alternativas, mientras VE asegura la mejor opción en términos de costo-valor.
Mitigación del riesgo competitivo	AHP identifica las alternativas que mejor mitigan riesgos, priorizando las que maximizan beneficios (Saaty, 2014).	VE mejora la competitividad del proyecto mediante soluciones más eficientes y económicas (Dell'Isola, 1997).	El uso combinado de AHP y VE asegura que se seleccionen soluciones que no solo sean funcionales, sino que también reduzcan los riesgos competitivos de la empresa y sus clientes.

Tabla 10: *Justificación de elección del método AHP orientado en la Ingeniería de valor para el caso de estudio que se desarrolla en esta investigación.*

Fuente: *Elaboración propia.*

7. CASO DE ESTUDIO Y APLICACIÓN

7.1 Contexto:

En este capítulo, se presenta un Caso de Estudio que se centra en la aplicación del Análisis Decisional AHP (Proceso Jerárquico Analítico) para determinar la configuración estructural más eficiente de las columnas en el diseño de una planta industrial dedicada al empaque de aguacates Hass, ubicada en el municipio de Támesis, Antioquia, Colombia.

El análisis comparativo se enfoca en el Proyecto Cartama, un proyecto específico de construcción que requiere una toma de decisiones crítica respecto a la disposición de las columnas en la planta. El objetivo primordial de este análisis es seleccionar la mejor opción entre diferentes configuraciones propuestas para la separación de las columnas, que incluyen distancias de 6 metros, 7.5 metros y 9 metros. Esta elección es crucial para optimizar el diseño estructural y asegurar la funcionalidad y eficiencia operativa de la planta.

Para abordar esta tarea, se emplea el Proceso Jerárquico Analítico (AHP), una metodología de toma de decisiones multicriterio ampliamente reconocida por su capacidad para evaluar y priorizar alternativas en función de múltiples criterios. El AHP permite descomponer el problema complejo en una jerarquía de factores y subfactores, facilitando así una evaluación detallada y sistemática de cada opción.

En este contexto, se analizan y comparan diversos elementos que afectan la decisión, tales como los costos asociados, la logística del diseño, la productividad esperada y la adaptabilidad arquitectónica de las alternativas. Mediante el uso del AHP, se asignan ponderaciones a estos criterios y se evalúan las distintas configuraciones de columnas en relación con su eficacia operativa general. Esto permite obtener una clasificación que ayuda a seleccionar la opción que mejor satisface los requisitos del proyecto y optimiza el rendimiento global de la planta.

7.2 Descripción del proyecto Cartama – planta de empaque de aguacates hass.

El dueño y cliente del proyecto Cartama es una empresa colombiana con más de 20 años de experiencia en el sector agrícola, especializado en el cultivo, postcosecha y Packing de aguacate Hass para su exportación a diferentes lugares del mundo.

Invitación a ver:

- https://cartama.com/
- https://www.youtube.com/watch?v=hZR5haXCGZc
- https://www.youtube.com/watch?v=yM0Vmgm7PgE

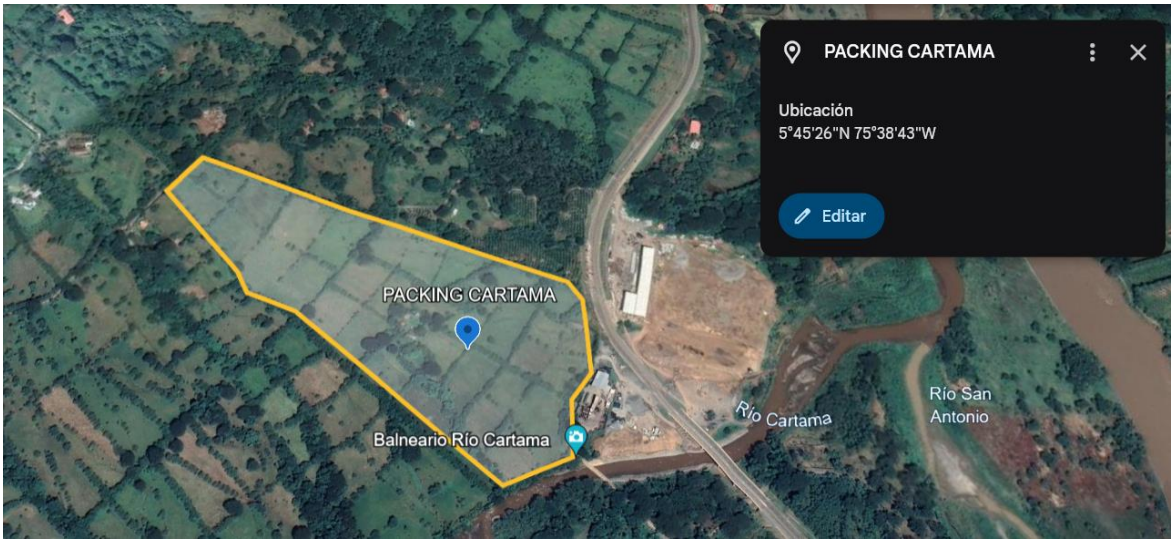


Imagen 2: *Ubicación con coordenadas de la planta de aguacates hass.*
Fuente: *Fuente: Google Earth 2024.*

El área del predio destinado al nuevo proyecto de Packing Cartama es de 24 Hectáreas. El proyecto PLANTA EMPACADORA DE AGUACATE CARTAMA, se localiza en el predio denominado “EL ORO”, Departamento de Antioquia y Municipio de Támesis, tiene una superficie de 24 Ha, y se encuentra en el margen del izquierdo del Rio Cauca sobre la vía La pintada – Bolombolo – Peña lisa.

Imagen 3: *Render de vista lateral izquierda del proyecto Cartama.*
Fuente: *Cartama 2024*

Colombia, al ser un país tropical que cuenta con climas aptos para la producción a gran escala de alimentos agrícolas, permite una cosecha permanente durante todo el año; favoreciendo a los consumidores en cuanto a la variedad de alimentos que se encuentran en el mercado. El aguacate es una de estas frutas que tienen producción masiva durante todo el año en diferentes departamentos de Colombia facilitando el consumo y la obtención.

En los últimos años las exportaciones de aguacate tuvieron gran importancia en Colombia, ayudando al crecimiento de la economía y ubicando a este cultivo como uno de los actores principales del comercio exterior, teniendo en cuenta que Colombia podría convertirse en uno de los nuevos grandes proveedores mundiales. [1]

[1] https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-aguacate-Hass-colombiano-se-mantiene-como-protagonista-en-el-S%c3%baper-Bowl,-el-m%c3%a1s-grande-evento-deportivo-de-Estados-Unido.aspx/

CUADRO DE AREAS - CARTAMA - ENERO 2024			
ZONAS	**AMBIENTES**	**AREA TECHO NORMAL (m2)**	**AREA BLANDA (m2)**
NAVES	NAVE 1: RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA, CÁMARA DE MATERIA PRIMA Y SALA DE PROCESO	4,587	-
	2DO PISO: OFICINAS		396
	MEZZANINE ALMACÉN DE CAJAS ARMADAS		647
	NAVE 2: TÚNELES, CÁMARA DE PRODUCTO TERMINADO Y ZONA DE DESPACHO	4,587	-
BLOQUE DE SERVICIOS	1ER PISO COMEDOR Y COCINA	619	-
	2DO PISO SS.HH., VESTIDORES E INGRESO	619	-
	3ER PISO OFICINAS	384	-
CONDUCTORES	CENTRO DE BIENESTAR DE CONDUCTORES	88	-
CANASTILLAS	ALMACENAMIENTO DE CANASTILLAS	-	722
CAJAS ARMADAS	ALMACENAMIENTO CAJAS ARMADAS	-	851
SADEMA	SALA DE MAQUINAS	292	-
MANTENIMIENTO	AREA DE MANTENIMIENTO: TALLER DE MANTENIMIENTO,CUARTO DE BOMBAS DE AGUA CONTRA INCENDIO, CUARTO DE AGUA BLANDA, CUARTO DE BOMBAS DE AGUA POTABLE, RESIDUOS SOLIDOS DE ALMACÉN, DESCARTE DE AGUACATES Y RESIDUOS DE MATERIALES QUÍMICOS	456	-
PARCIAL		11,632	2,617
TOTAL AREA TECHADA + BLANDA			14,249
HUELLA			16,435

Tabla 11: *Cuadro de áreas del proyecto Packing Cartama*

Fuente: *Proyecto Cartama 2024*

Por otra parte, en Colombia el cultivo de este alimento se facilita por la situación climática, es así como la demanda del aguacate es provechosa para el margen económico colombiano, situando al país en un lugar notable para los nuevos inversionistas del mundo. El mayor productor y exportador de aguacate Hass en el país es el grupo colombiano Cartama, conformado por un conjunto de sociedades con cultivos principalmente en Antioquia y el eje cafetero, con más de 3.000 hectáreas de cultivos, exporta a través de Avofruit S.A.S., comercializadora ubicada en Pereira.

Por todo lo expuesto, y cumpliendo con el propósito de Cartama, de contribuir con desarrollar el sector agrícola colombiano, se lleva adelante este proyecto, que comprende el diseño y arquitectura de una planta empacadora destinada al manejo post cosecha, procesamiento y tratamiento de aguacates calificados para exportación y mercado nacional.

Para llegar a la construcción de una planta de **14.249 m2**, se debe pasar por análisis que involucren de manera responsable cada uno de los espacios a utilizarse. Estos espacios deben cumplir cabalmente con la función para la que están siendo considerados y deben involucrar siempre una visión de futuro que asegure potenciales crecimientos. La forma de análisis para el correcto dimensionamiento se debe basar en datos de producción, métodos de trabajo, experiencias y conocimiento del rubro en que está inserto la empresa.

7.3 Papel de la Empresa Constructora en el Ciclo de Vida del Proyecto

La constructora y el equipo de diseño juega un papel crucial en el desarrollo y éxito del proyecto de planta de aguacate a lo largo de sus diversas fases de ciclo de vida, tal como lo propone el Project Management Institute (PMI). Aquí están las responsabilidades y contribuciones clave de la empresa constructora (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2018):

Fase de Iniciación: Durante esta fase, la constructora colabora con las partes interesadas para definir el alcance y los objetivos del proyecto. Esto incluye realizar una evaluación de necesidades para identificar los requerimientos de la planta empacadora de aguacate, la cual informa la documentación inicial del proyecto y el caso de negocio.

Fase de Planeación: La empresa constructora es instrumental en el desarrollo de planes detallados del proyecto, incluyendo especificaciones de diseño y asignación de recursos. Utilizando métodos como el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), la empresa evalúa diferentes alternativas de diseño en base a criterios como costo, logística y productividad, asegurando que el diseño elegido se alinea con los objetivos del proyecto.

Fase de Ejecución: En esta fase, la constructora implementa los planes del proyecto administrando las actividades de construcción, coordinando con los subcontratistas, y asegurando el cumplimiento de las especificaciones de diseño. La compañía también monitorea el progreso y aborda cualquier problema que surja, manteniendo la alineación con el cronograma y el presupuesto del proyecto.

Fase de Monitoreo y Control: La constructora evalúa continuamente el desempeño del proyecto frente a los planes establecidos. Esto incluye evaluar la efectividad del diseño y hacer los ajustes necesarios para optimizar los procesos de construcción y la utilización de recursos. La integración de AHP permitirá la toma de decisiones sistemática para mejorar los resultados del proyecto.

Fase de Clausura: Al concluir el proyecto, la constructora se asegura de que todos los entregables cumplan con los estándares requeridos y que el proyecto se complete dentro del alcance y presupuesto acordados. Esta fase también implica realizar una evaluación posterior al proyecto para identificar las lecciones aprendidas y las áreas de mejora en futuros proyectos.

En resumen, la empresa constructora es parte integral del proyecto de planta de aguacate en todas las fases del ciclo de vida, desde el inicio hasta el cierre. Su función abarca la planificación, ejecución y evaluación continua, asegurando que el proyecto sea exitoso y satisfaga las necesidades del cliente mientras se adhiere a las pautas del PMI en el marco de su ciclo de vida. Tal y como se puede ver en (***Ilustración 22***).

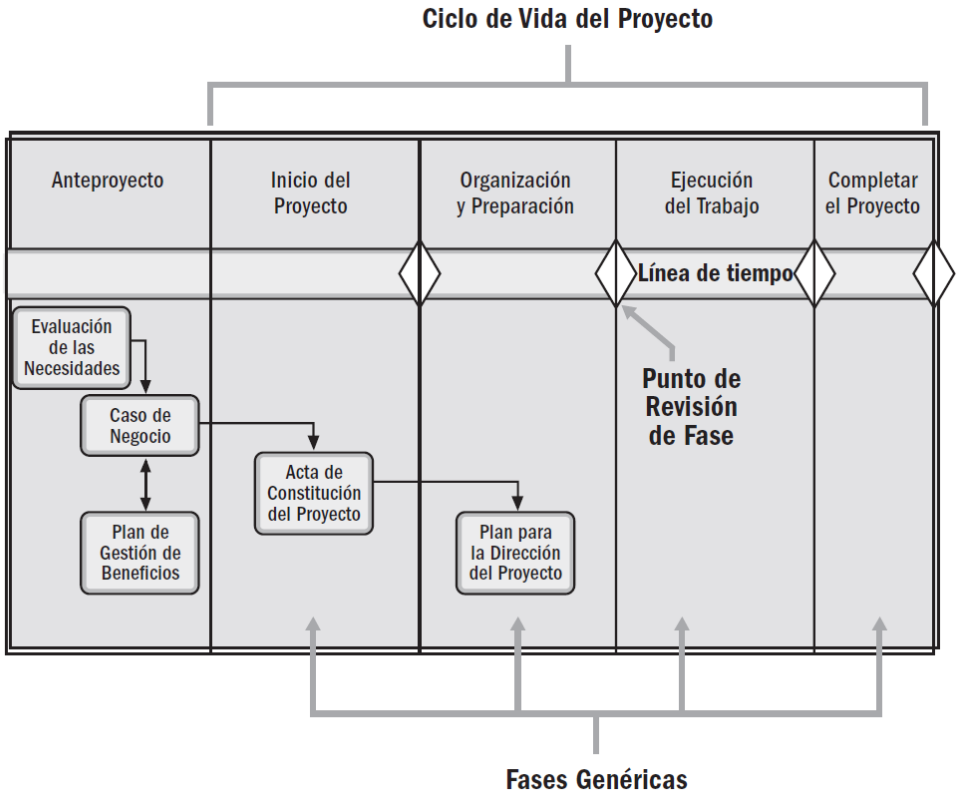


Ilustración 21: *Interrelación entre la Evaluación de Necesidades y los Documentos Críticos del Negocio/Proyecto.*
Fuente: *PMBOK (PMI, 2017)*

En las primeras etapas del proyecto de planta empacadora de aguacate, identificar los factores clave de éxito para la gestión de riesgos es crucial para alinear los beneficios y las necesidades de las partes interesadas. A continuación, se enumeran los factores recomendados por la guía práctica *Risk management in Portfolios, Programs, and Projects* (PMI, 2024), con el objeto de correlacionar en la empresa constructora su aproximación fundamental en la aplicación de estos principios junto con AHP:

1. Reconocer el valor de la administración de riesgos

La empresa debe enfatizar la importancia de la gestión de riesgos como una herramienta estratégica que potencia los resultados del proyecto. Esto implica realizar evaluaciones exhaustivas de riesgos para identificar problemas potenciales desde el principio, lo que puede conducir a una mejor toma de decisiones y asignación de recursos. Reconocer el

valor de la administración de riesgos ayuda a minimizar las interrupciones y garantizar la viabilidad del proyecto.

2. Compromiso y Responsabilidad de Todos los Actores en el Proyecto

Es fundamental que la constructora fomente una cultura de compromiso entre todos los participantes del proyecto. Esto incluye definir roles y responsabilidades claros para cada parte interesada, asegurando que todos entiendan su parte en la administración de riesgos. Al promover la rendición de cuentas, la empresa puede mejorar la colaboración y la responsabilidad colectiva para la gestión de riesgos.

3. Comunicación abierta y honesta de todas las partes interesadas

La constructora deberá establecer canales de comunicación efectivos que fomenten la transparencia entre las partes interesadas. Las reuniones y actualizaciones periódicas pueden facilitar las discusiones sobre posibles riesgos y desafíos, lo que permite intervenciones oportunas. La comunicación abierta ayuda a generar confianza y asegura que todas las partes estén alineadas en sus esfuerzos de gestión de riesgos.

4. Compromiso Organizacional

La empresa debe demostrar un fuerte compromiso organizacional con la gestión de riesgos integrándola a sus valores centrales y prácticas operativas. Esto incluye proporcionar capacitación y recursos para iniciativas de administración de riesgos, que pueden capacitar a los empleados para participar activamente en la identificación y mitigación de riesgos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

5. Adaptación de los esfuerzos de riesgo

La constructora debe ser flexible en su enfoque de gestión de riesgos, adaptando estrategias a medida que evoluciona el proyecto. Esto implica monitorear continuamente el entorno del proyecto y reevaluar los riesgos en función de nueva información o condiciones cambiantes. Al ser adaptable, la empresa puede responder eficazmente a desafíos imprevistos y mantener el impulso del proyecto.

6. Integración con la Administración de Proyectos Organizacionales

Integrar la gestión de riesgos en el marco general de gestión del proyecto es esencial para asegurar que las consideraciones de riesgo formen parte de cada fase del proyecto. La constructora debe alinear los procesos de gestión de riesgos con las metodologías de gestión de proyectos, asegurando que los riesgos se identifiquen, evalúen y aborden sistemáticamente a lo largo del proyecto.

Ilustración 22: *Factores clave para el éxito en la gestión de riesgos.* ***Fuente:*** (*Risk management in portfolios, programs, and projects: a practice guide*, 2024)

Estos factores enfatizan la importancia de un enfoque holístico en la gestión de riesgos, donde se combinan factores individuales, organizacionales y de comunicación. Esta concepción resalta que el éxito en esta área no depende de un solo factor, sino de la interacción y balance entre varios elementos clave dentro de una organización o proyecto. Además, puede permitir cambios conceptuales en la compañía para apalancar la implementación de AHP como marco de toma de decisiones estructurado, facilitando así su implementación dentro del sistema de gestión de calidad.

7.4 Caso de Estudio del proyecto Cartama entre la fase de anteproyecto e iniciación:

Situar las decisiones importantes entre el anteproyecto y la fase de iniciación según el PMI es crucial porque estas fases permiten establecer las bases estratégicas, técnicas y financieras del proyecto, Tal y como se puede ver en (***Ilustración 21***). La capacidad de tomar decisiones bien informadas en estas etapas asegura que el proyecto se alinee con las expectativas, sea viable desde el punto de vista técnico y financiero, y tenga un plan claro para su ejecución exitosa. (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2018), algunas razones para que el caso de estudio se desarrolle entre estas fases son las siguientes:

1. Definición Clara del Alcance y Objetivos

En el anteproyecto y la fase de iniciación, se establecen los objetivos clave del proyecto, incluyendo el alcance, los requerimientos del cliente y las expectativas de los stakeholders. Tomar decisiones importantes en esta etapa asegura que las metas sean claras y se alinee con los recursos disponibles. Definir adecuadamente el alcance del proyecto evita futuros cambios significativos que pueden ser costosos y que generen retrasos.

2. Evaluación de Viabilidad y Análisis de Alternativas

En la fase de anteproyecto, se realizan estudios de viabilidad técnica, económica y legal. Aquí se evalúan las posibles alternativas de diseño y construcción. Tomar decisiones importantes en este punto permite identificar la mejor opción antes de comprometerse con recursos significativos. Se consideran aspectos como la viabilidad financiera, los recursos disponibles y las posibles limitaciones, lo que garantiza que el proyecto tenga un enfoque sostenible.

3. Gestión de Riesgos

Durante el anteproyecto y la fase de iniciación se hace la identificación inicial de riesgos. Tomar decisiones tempranas sobre los principales riesgos y cómo mitigarlos ayuda a evitar futuros problemas. Las decisiones sobre la metodología de construcción, los materiales, o los contratistas pueden estar influenciadas por esta evaluación de riesgos. Al anticipar y planificar para los riesgos potenciales, se puede minimizar su impacto en fases posteriores.

4. Optimización de Diseño

En proyectos de construcción, las decisiones tempranas sobre el diseño en la fase de anteproyecto tienen un gran impacto en los costos de construcción y la operación posterior. Por ejemplo, elegir una solución de diseño más eficiente puede reducir los costos operativos de la planta y aumentar su rendimiento a largo plazo. La alineación entre los requerimientos funcionales y el diseño en estas fases garantiza que el producto final será adecuado para las necesidades del cliente.

7.5 Conceptualización del método AHP para el caso de estudio dentro de entornos VUCA:

El Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) es un método para el análisis de decisiones multicriterio que puede ayudar significativamente a reducir la incertidumbre en entornos VUCA (Volatilidad, Incertidumbre, Complejidad, Ambigüedad), particularmente en el contexto de la Ingeniería de Valor. Al estructurar la toma de decisiones jerárquicamente, AHP permite a los tomadores de decisiones evaluar alternativas de manera sistemática, considerando factores tanto cualitativos como cuantitativos, lo cual es crucial en entornos impredecibles (Hou et al., 2023) (Shahpari et al., 2020). El método facilita el establecimiento de prioridades a través de comparaciones por pares, lo que permite una visión más clara de las relaciones entre diversos criterios y alternativas (Shahpari et al., 2020). Este enfoque estructurado ayuda a las organizaciones a navegar por las complejidades y ambigüedades inherentes a los entornos VUCA, lo que en última instancia conduce a decisiones más informadas y estratégicas (Taskan et al., 2022). Por lo tanto, AHP sirve como una herramienta valiosa para mejorar la claridad y reducir la incertidumbre al evaluar opciones en contextos dinámicos y desafiantes. (***Ilustración 23***) aspectos que están en la línea de gestión de la concepción AHP y VE descrita en el numeral (6.4) (***Tabla 10***), dicha línea de gestión, para esta las primeras fases, PUEDEN concebirse de la siguiente manera:

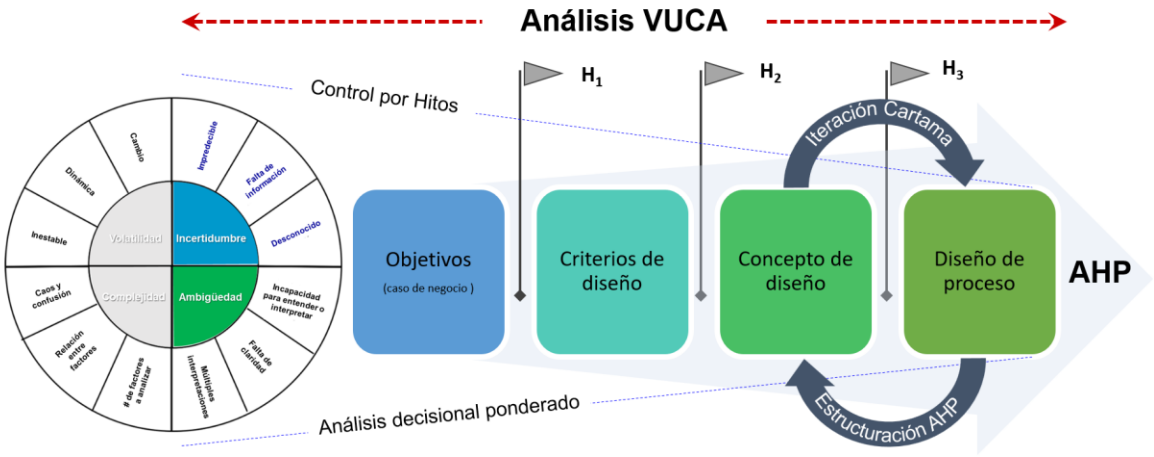


Ilustración 23: *El método AHP dentro de entornos VUCA.*
Fuente: *construcción propia a partir de (Taskan et al., 2022).*

El Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) ayuda en el manejo de la complejidad y ambigüedad en la toma de decisiones estratégicas al proporcionar un marco estructurado para evaluar múltiples criterios y alternativas durante la fase de inicio de un proyecto. AHP permite a los tomadores de decisiones priorizar opciones basadas en factores tanto cualitativos como cuantitativos, lo cual es crucial en entornos caracterizados por redes de información interconectadas y enrevesadas (Shahpari et al., 2020). Al facilitar comparaciones por pares entre criterios, AHP ayuda a aclarar las relaciones e influencias entre diversos factores de decisión, reduciendo así la ambigüedad con respecto a causa y efecto (Taskan et al., 2022). Este enfoque sistemático no solo mejora la comprensión de las interdependencias complejas, sino que también apoya la toma de decisiones racional, lo que en última instancia conduce a una iniciación de proyectos más informada y efectiva (Alirezaei et al., 2022) (Ma et al., 2020). Su conceptualización se lleva a cabo en el caso de Cartama mediante la ponderación de hitos con el objeto de mantener un análisis de las variables VUCA que son percibidas por el cliente y por la constructora de forma correlacionada a las etapas de estructuración de diseños bajo la adopción del modelo de entrega *Lean project delivery* (Mossman, 2016). Con este enfoque, busca un desarrollo de gestión integrado y contextualizado para el proyecto.

En contextos VUCA, las organizaciones enfrentan numerosos riesgos y oportunidades. AHP facilita la priorización de estos elementos al permitir que los tomadores de decisiones

los evalúen y comparen en función de su importancia relativa. Esta priorización ayuda a las organizaciones a enfocar sus recursos en los riesgos y oportunidades más impactantes, optimizando así la toma de decisiones y mejorando el valor del proyecto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2018). Tal y como se puede ver en (***Ilustración 23***)

7.5.1 Aplicación de AHP en el caso de estudio

El objetivo es determinar la disposición estructural más competitiva que mejore tanto la integridad sísmica como la viabilidad económica del proyecto, la eficiencia logística de construcción y un balance costo beneficio para el cliente que satisfaga sus metas de crecimiento en infraestructura física como competitividad de retorno de inversión temprana. Estos aspectos son inductores de valor dado que repercuten en la competitividad de las partes interesadas (Narea & Guamán, 2021). Si bien la evaluación inicial, la cual se hizo únicamente con el ingeniero estructural del proyecto, sugirió que una separación entre columnas de 9 metros sería la opción más rentable, la evaluación multicriterio de la AHP reveló que la alternativa óptima es la distribución de las columnas a 6 metros, debido a su mayor capacidad de adaptación arquitectónica y productividad, a pesar de sus implicaciones relativamente menos favorables en términos de costo y logística.

El análisis abarca el examen de varios parámetros mediante la utilización de una tabla evaluativa y la formulación de una matriz de comparación para cada criterio, concluyendo en última instancia que la distribución de columna de 6 metros es la más adecuada para el proyecto, dando mayor prioridad a la adaptabilidad y la productividad en relación con las consideraciones de costo.

Este ejercicio de caso de estudio se desarrolla en unos pasos, que más adelante serán la estructura de la propuesta de un marco metodológico de ingeniería de valor usando la herramienta de análisis decisional multicriterio AHP.

La ingeniería de valor (VE) representa un enfoque metódico diseñado para mejorar el valor de un proyecto mediante la optimización de sus funcionalidades y, al mismo tiempo, minimizar los costos y la duración asociados. En el contexto de Malasia, por ejemplo, los

proyectos públicos que superen los 50 millones de yuanes son necesarios para implementar la ingeniería de valor, lo que subraya su importancia en el ámbito de la gestión de proyectos (Olanrewaju et al., 2022). La fusión de la VE con el proceso jerárquico analítico (AHP) aumenta las capacidades de toma de decisiones al facilitar la cuantificación de criterios cualitativos, como el atractivo estético y la compatibilidad medioambiental, que con frecuencia presentan desafíos de medición (Costa-Carrapiço et al., 2020) (Hou et al., 2023). El AHP sirve para establecer un marco jerárquico para la evaluación de múltiples criterios, lo que permite a las partes interesadas priorizar sus objetivos de manera efectiva (Hou et al., 2023). Gracias a la integración de VE y AHP, los equipos de proyecto están en condiciones de realizar un análisis más exhaustivo de las compensaciones, lo que, en última instancia, fomenta la mejora de los resultados del proyecto y el aumento de la productividad dentro de las metodologías de construcción (McKinsey Global Institute, 2017) (Olanrewaju et al., 2022).

7.2 Método

Para nuestro caso de estudio, en el que se desea aplicar un modelo de análisis decisional, se procede con la utilización del método AHP según la orientación de, (Nadkarni & Puthuvayi, 2020), en la que indica que, “El método AHP (Análisis Jerárquico Decisional) para clasificar alternativas ha experimentado un repentino aumento en su aplicación en los últimos dos años. En el caso de la determinación del peso, el método AHP ha sido el método más dominante y consistente que se ha aplicado”. Por lo anterior, y luego de revisar el potencial del método y su amable uso para personas, al no requerir un amplio conocimiento previo en algebra lineal, permite que su uso sea de fácil dominio. Andreolli et al. 2022 (Andreolli et al., 2022b) y (Toskano Hurtado, s. f.)

7.3 Análisis Jerárquico (AHP)

El Proceso de Análisis Jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty (*The Analytic Hierarchy Process*, 1980) está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El análisis multicriterio, incluido el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), es un método para la toma de decisiones en diversos campos. AHP permite la priorización de

alternativas en base a múltiples criterios, con ponderaciones determinadas mediante comparaciones por pares (Andreolli et al., 2022b) (Hou et al., 2023). La integración de AHP con otros métodos como TOPSIS potencia la toma de decisiones al ponderar sistemáticamente los criterios y clasificar las alternativas en función de su distancia de las soluciones ideales (Tan et al., 2021). AHP, junto con otros métodos de Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA) como MAVT y MAUT, proporciona un marco estructurado para priorizar tratamientos de mantenimiento basados en riesgos de seguridad, rentabilidad y restricciones presupuestarias, lo que ayuda en la planificación del mantenimiento de puentes a nivel de red (Jaafaru & Agbelie, 2022). Adicionalmente, se ha demostrado que la aplicación de métodos híbridos de toma de decisiones multicriterio, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos, evalúa efectivamente la productividad en sistemas de construcción, como los prefabricados e in-situ, a través de técnicas como Delphi, ANP, DEMATEL y TOPSIS (Shahpari et al., 2020).

El método del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), introducido por Saaty, es una herramienta robusta para los procesos de toma de decisiones, ofreciendo un enfoque estructurado a las decisiones complejas al priorizar elementos en un modelo jerárquico (Shahpari et al., 2020). AHP permite a los tomadores de decisiones incorporar aspectos tanto cualitativos como cuantitativos, permitiendo la selección de la mejor opción al tiempo que consideran diversos criterios y subcriterios a través de comparaciones por pares y vectores de ponderación (Hou et al., 2023) (Toskano Hurtado, s. f.). Este método facilita la organización de la información de manera eficiente, proporcionando una representación gráfica de preferencias y prioridades para alternativas de decisión, incluso en entornos inciertos donde los datos cualitativos son esenciales pero difíciles de medir (Tan et al., 2021). La capacidad de AHP para manejar modelos de evaluación multicriterio y ofrecer información sobre problemas de decisión lo convierte en un activo valioso en los procesos de toma de decisiones en diversos campos, mejorando la comprensión y priorización de factores de decisión complejos (Ighravwe & Oke, 2019).

La metodología conocida como Proceso jerárquico analítico (AHP) implica una serie de procedimientos fundamentales. Principalmente, requiere la construcción de un marco jerárquico mediante la identificación de objetivos, criterios, subcriterios y opciones (Shahpari et al., 2020). una forma típica de AHP puede visualizarse en la ***Ilustración 24***.

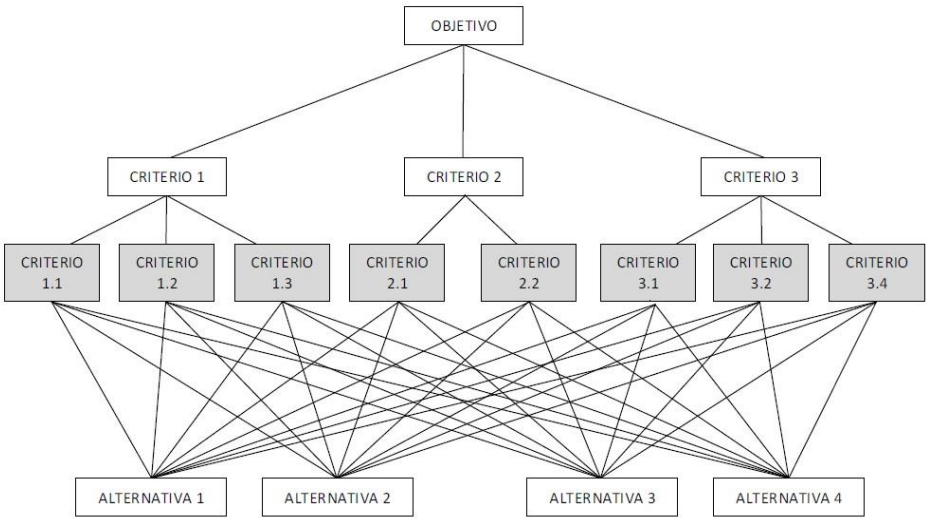


Ilustración 24: *Estructura gráfica del método AHP. Saaty 1980*
Fuente: *Google Images 2024.*

Después de esto, la metodología implica la priorización de los elementos dentro de este arreglo jerárquico (Toskano Hurtado, s. f.) . Posteriormente, se realizan comparaciones por pares para desarrollar una matriz de comparación, que desempeña un papel fundamental a la hora de derivar los vectores de ponderación del modelo de evaluación multicriterio (Hou et al., 2023). Propuesta inicialmente por Saaty, la metodología AHP sirve como un instrumento de toma de decisiones que utiliza estas comparaciones por pares para determinar las escalas de prioridad de los intrincados criterios y restricciones utilizando los principios del álgebra lineal (Tan et al., 2021). En términos generales, el enfoque AHP ayuda a los responsables de la toma de decisiones a tomar decisiones bien informadas al tener en cuenta factores tanto cualitativos como cuantitativos, proporcionando así un marco sistemático para un análisis complejo de decisiones.

De las ventajas de AHP se incluyen su naturaleza intuitiva, cálculo sencillo y la ausencia de algoritmos complejos, por lo que es ampliamente aplicable en diversos campos como la gestión empresarial y financiera (Ighravwe & Oke, 2019). No obstante, AHP tiene limitaciones, incluyendo la necesidad de comparaciones por pares que pueden ser subjetivas, el desafío de asegurar la consistencia en los juicios y el potencial de sesgos en el proceso de toma de decisiones (Shahpari et al., 2020). Adicionalmente, la generalización de los resultados de AHP puede estar limitada al conjunto de datos y variables específicas utilizadas, impactando su aplicabilidad a diferentes contextos (Abdulfattah et al., 2023).

Comprender estas ventajas y limitaciones es crucial para utilizar eficazmente el método AHP en los procesos de toma de decisiones

7.3.1 Proceso analítico del Método AHP:

Para (Alexander et al., 2018) el proceso analítico AHP es un enfoque sistemático que potencia la toma de decisiones estructurando problemas complejos, facilitando las comparaciones, asegurando la consistencia e incorporando el juicio experto, lo que en última instancia conduce a una priorización informada de los criterios, tal y como se ilustra en (***Tabla 12***). Al aplicar AHP, los gerentes de proyecto pueden evaluar sistemáticamente estos criterios para priorizar riesgos y desarrollar estrategias de respuesta adecuadas, asegurando mejores resultados del proyecto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2018)

7.4 Caso de estudio:

El problema: En el proyecto Cartama, la gerencia técnica tiene una necesidad con la disciplina de ingeniería estructural de definir entre dos propuestas para la distribución de columnas a 6m o 9m, para la super estructura del proyecto Cartama en fase de diseño, que no ha permitido el avance de definición y hasta no establecer cuál es la ideal para la Super-estructura del Packing de Aguacates, no se permite avanzar en su diseño definitivo.

Paso	Descripción	Formulación Matricial
1. Definición del Problema	Establecer el objetivo de la decisión, los criterios y las alternativas en una estructura jerárquica. Esta jerarquía permite organizar el problema desde lo general a lo específico.	No hay matrices en este paso, solo la estructura jerárquica del problema. Ejemplo: Objetivo (selección de la mejor alternativa), Criterios (Costo, Calidad, Tiempo), Alternativas (Opción 1, Opción 2, Opción 3).
2. Matriz de Comparaciones Pareadas (Matriz A)	Comparar los criterios en pares, usando una escala de importancia relativa (1-9) según la metodología de Saaty, para generar la matriz de comparaciones.	La matriz ***A*** es una matriz cuadrada ***n×n*** , donde ***n*** es el número de criterios. Ejemplo de matriz de comparaciones pareadas de 3 criterios: $A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$
3. Normalización de la Matriz (Matriz A')	Cada elemento de la matriz ***A*** se divide por la suma de los elementos de su columna para obtener la matriz normalizada ***A'***, donde la suma de cada columna es ***1*** .	$A' = \frac{A}{\sum a_{ij}}$, donde A´es la matriz normalizada, y cada a'_{ij} es la proporción relativa de a_{ij}, respecto a la columna. Ejemplo: $A' = \begin{pmatrix} 062 & 0.75 & 0.71 \\ 0.21 & 0.25 & 0.29 \\ 0.17 & 0.5 & 0.43 \end{pmatrix}$
4. Cálculo del Vector de Prioridades (Vector *W*)	El vector ***W*** se obtiene promediando los valores de cada fila de la matriz ***A'***, lo que da los pesos relativos de cada criterio.	$W' = \frac{\sum a_{ij}}{n}$, donde ***W*** es el vector de prioridades (pesos relativos) de los criterios. Ejemplo: $\mathrm{W}' = \begin{pmatrix} 0.69 \\ 0.25 \\ 0.06 \end{pmatrix}$
5. Cálculo del Valor Propio Máximo λmax	Se multiplica la matriz ***A*** por el vector de prioridades ***W***, y se calcula el valor propio máximo ***λmax***	***A x W=λmax x W*** donde ***λmax*** es el valor propio máximo. Ejemplo: $A * W = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0.69 \\ 0.25 \\ 0.06 \end{pmatrix}$ = 3.08
6. Índice de Consistencia *(CI)*	Se verifica la consistencia de los juicios comparando ***λmax*** con ***n*** , el número de elementos en la matriz.	El Índice de Consistencia (CI) se calcula como: $CI = \frac{\lambda \max - n}{n - 1}$
7. Razón de Consistencia (CR)	Comparar el ***CI*** con el Índice Aleatorio **(RI)**, que depende del tamaño de la matriz, para determinar si los juicios son consistentes.	$CR = \frac{CI}{RI}$,Donde RI es un valor tomado de Tablas standar Si CR es < 0.1, la matriz en consitente
8. Comparación de Alternativas (Matriz B)	Se construye una matriz de comparaciones pareadas para las alternativas, similar al proceso anterior, utilizando los criterios como base de evaluación.	La matriz ***B*** es una matriz cuadrada ***m × m*** , donde **m** es el número de alternativas. Ejemplo: $B = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1/3 \\ 1/2 & 1 & 1/5 \\ 3 & 5 & 1 \end{pmatrix}$
9. Síntesis de Prioridades (Multiplicación Matricial)	Se multiplican los pesos de los criterios por la matriz de alternativas para obtener las puntuaciones finales de cada alternativa.	$S = W^T * B$, Donde S en el vector de puntuación final, ejemplo: $W^T * B = (0.69\ 0.25\ 0.06) \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1/3 \\ 1/2 & 1 & 1/5 \\ 3 & 5 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.52 \\ 0.31 \\ 0.17 \end{pmatrix}$

Tabla 12: *pasos de desarrollo del Método AHP. Saaty 1980.*
Fuente: *elaboración Propia*

La empresa de Arquitectura, Ingeniería de Procesos y Frio, propone que la mejor opción es distribuir 3 ejes de columnas en todo el proyecto cada 6 metros a lo largo de los ejes. Mientras que la empresa de Ingeniería Estructural, propone que esa distribución se realice en los mismos 3 ejes, pero a cada 9 metros. El problema se enfoca hallar una estrategia o método para definir cuál es la distribución ideal para este proyecto, y establecer cuáles serán los criterios que definan esa definición.

La respuesta del equipo de Diseño Estructural: En el marco del desarrollo del proyecto de construcción Cartama, se solicitó al equipo de ingeniería estructural una evaluación detallada sobre la distribución de las columnas estructurales en las principales naves de producción y empaquetamiento. Inicialmente, el diseño arquitectónico planteaba columnas cada 6 metros, pero a partir de diversos análisis técnicos, se propuso una alternativa con una separación de 9 metros entre columnas. Este informe, emitido por el ingeniero estructural encargado, expone los resultados obtenidos tras comparar ambas opciones, considerando factores clave como los costos, la estabilidad estructural, el impacto sísmico y las implicaciones en el montaje.

El análisis incluyó evaluaciones sobre la cantidad de columnas necesarias, las dimensiones de las mismas, el sistema de fundaciones, la resistencia ante cargas sísmicas y el diseño de la cubierta, concluyendo que la opción de columnas separadas por 9 metros no solo ofrece ventajas económicas y constructivas, sino que también mejora la eficiencia en el uso de materiales y garantiza una mayor estabilidad frente a condiciones sísmicas adversas.

A continuación, se presenta un cuadro resumen que organiza los argumentos clave que llevaron a la conclusión de que la mejor alternativa para el proyecto es una distribución de columnas cada 9 metros. (***Tabla 13***). El comunicado oficial, se dejará como elemento de consulta como anexo al final de esta investigación. La columna 1 presenta los criterios de la estructura jerárquica que se van ponderando de forma progresiva. Estos criterios se correlacionan a los costos unitarios de cada escenario.

Aspecto Evaluado	Argumentos a favor de 6m	Argumentos a favor de 9m	Conclusión Final
Cantidad de columnas	21 columnas requeridas en las naves principales.	Solo 14 columnas necesarias, lo que reduce el número total.	Ahorro de 7 columnas y reducción de estructuras de cubierta.
Costos estructurales	Requiere más columnas y estructuras de soporte adicionales.	Ahorro de 130 m³ de concreto y reducción significativa de costos.	Menor consumo de materiales y menor costo en fundaciones.
Dimensiones de columnas	Secciones de columnas más pequeñas (40x60 cm), pero insuficientes.	Sección de columnas de 60x60 cm o 60x80 cm garantizan estabilidad.	Secciones más grandes, pero con estabilidad estructural asegurada.
Sistema de fundación	Requiere zapatas más profundas y más volumen de excavación.	Uso de pilas cortas reduce excavación y volumen de concreto.	Menor excavación y menor consumo de concreto en fundaciones.
Resistencia sísmica	Similar resistencia sísmica que las columnas de 9m.	Mejora la proporción de momento volcador y carga axial.	Columnas de 9m ofrecen mejor control de derivas sísmicas.
Cubierta y correas	Menor luz implica mayor cantidad de correas, menos eficientes.	Luz de 9m optimiza el uso de correas y mejora la modulación.	Ahorro en correas y elementos estructurales.
Impacto en montaje	Más elementos a montar, más tiempo y mayor complejidad.	Prefabricación simplificada reduce tiempos y costos de montaje.	El montaje se facilita por la prefabricación y menor cantidad de elementos.

Tabla 13: *Resumen de aspectos evaluados por el equipo estructural para definir las columnas a 9 metros*
Fuente: *Elaboración propia.*

DIMENSIONES DE COLUMNAS Y PILAS SEGÚN DISTRIBUCIÓN

Alcance: Poder estimar como varian las pilas y las columnas de una estructura, en una configuración propuesta y en una altura definida

Cada 6m			Cada 7,5 m			Cada 9 m		
Elemento	Dimensión							
Profundidad de Pila (m)	7		Profundidad de Pila (m)	7		Profundidad de Pila (m)	7	
Diametro de Pila (m)	1.1		Diametro de Pila (m)	1.1		Diametro de Pila (m)	1.1	
Dimensiones de Columnas (m)	0.6	0.6	Dimensiones de Columnas (m)	0.6	0.7	Dimensiones de Columnas (m)	0.6	0.8
Altura de Columnas (m)	12		Altura de Columnas (m)	12		Altura de Columnas (m)	12	
Sección de vigas (m)	0.3	0.4	Sección de vigas (m)	0.4	0.4	Sección de vigas (m)	0.4	0.5
Longitud eje (ml)	146		Longitud eje (ml)	146		Longitud eje (ml)	146	
Separación ejes (m)	6.5		Separación ejes (m)	7.5		Separación ejes (m)	9	
Cantidad Columnas y pilas x eje	22		Cantidad Columnas y pilas x eje	19		Cantidad Columnas y pilas x eje	16	
Volumen Pila (m3)	6.65		Volumen Pila (m3)	6.65		Volumen Pila (m3)	6.65	
Volumen gral Pilas (m3)	149.42		Volumen gral Pilas (m3)	129.50		Volumen gral Pilas (m3)	107.92	
Volumen columna (m3)	4.32		Volumen columna (m3)	5.04		Volumen columna (m3)	5.76	
Volumen Gral Columnas (m3)	97.03		Volumen Gral Columnas (m3)	98.11		Volumen Gral Columnas (m3)	93.44	
Volumen Vigas x columna (m3)	2.34		Volumen Vigas x columna (m3)	3.6		Volumen Vigas x columna (m3)	5.4	
Volumen gral vigas (m3)	52.56		Volumen gral vigas (m3)	70.08		Volumen gral vigas (m3)	87.6	
Costo Unit Pilas	$ 1,600,000		Costo Unit Pilas	$ 1,600,000		Costo Unit Pilas	$ 1,600,000	
Costo Unit Columnas	$ 1,200,000		Costo Unit Columnas	$ 1,200,000		Costo Unit Columnas	$ 1,200,000	
Costo Unit Vigas	$ 1,200,000		Costo Unit Vigas	$ 1,200,000		Costo Unit Vigas	$ 1,200,000	
Costo Gral Pilas	$ 239,074,234		Costo Gral Pilas	$ 207,197,670		Costo Gral Pilas	$ 172,664,725	
Costo Gral Columnas	$ 116,440,615		Costo Gral Columnas	$ 117,734,400		Costo Gral Columnas	$ 112,128,000	
Costo Gral Vigas	$ 63,072,000		Costo Gral Vigas	$ 84,096,000		Costo Gral Vigas	$ 105,120,000	
Total x 3 ejes ($) =	$ 1,255,760,549		Total x 3 ejes ($) =	$ 1,227,084,209		Total x 3 ejes ($) =	$ 1,169,738,174	

Tabla 14: *Estimación del Costo de Superestructura según su distribución.*
Fuente: *Elaboración propia*

A partir de las consideraciones del ingeniero estructural se construye un cuadro resumen que sintetiza los elementos de la superestructura y se asignan costos indicadores para

saber su costo y adicionalmente la gerencia del proyecto incluye un escenario intermedio de distribución de columnas a 7.5m, con el propósito de revisar el comportamiento de los criterios (***Tabla 14***) y (***Tabla 15***):

LOGISTICA								
Valoración: Se considera que la logistica, involucra los aspectos de cadena de suministro desde la fuente hasta la obra y la medida que se considera evaluar es el volumen en m3 de concreto, que es el material predominante y que mayor planeación, espacio y tiempo requieren para lograr materializar un elemento. a mayor m3 obtenidos, mayor logistica se debe emplear y por tanto entre mayor sea el valor , mas desfavorable se considera								
Cada 6 m			**Cada 7.5 m**			**Cada 9 m**		
Pilas en Concreto	149.42		Pilas en Concreto	129.50		Pilas en Concreto	107.92	
Columnas en Concreto	97.0		Columnas en Concreto	98.1		Columnas en Concreto	93.4	
Vigas en concreto	52.56		Vigas en concreto	70.08		Vigas en concreto	87.6	
VOLUMEN TOTAL 1 eje (m3) =	299.0		VOLUMEN TOTAL 1 eje (m3) =	297.7		VOLUMEN TOTAL 1 eje (m3) =	289.0	
VOLUMEN TOTAL 3 ejes (m3) =	**897**		VOLUMEN TOTAL 3 ejes (m3) =	**893**		VOLUMEN TOTAL 3 ejes (m3) =	**867**	

Tabla 15: *Estimación del costo logístico para las diferentes distribuciones.*
Fuente: *Elaboración propia*

TABLA DE VALORACIÓN DE CRITERIOS				
	Costo		**Logística**	
	$ COP	% desv	m3	% desv
Columnas 6m	$1,255,760,549	100%	897.0	100%
Columnas 7.5m	$1,227,084,209	98%	893.1	100%
Columnas 9m	$1,169,738,174	93%	866.9	97%

Tabla 16: *Tabla de valoración de costos de la superestructura y la logística.*
Fuente: *Elaboración propia*

El inicio del Método AHP: Según la tabla de valoración de criterios, luego del análisis proporcionado por el ingeniero estructural, las columnas y pilas a 9m son menos costosas y por tanto es la mejor alternativa para la superestructura del proyecto Cartama.

Luego, bajo este escenario, no se requiere realizar un análisis multicriterio, ya que es evidente que las columnas y pilas a 9 metros, representa la mejor alternativa desde el punto de vista de costo y logística.

Sin embargo, tomando como referencia los criterios de valoración propuestos por (Domínguez & Cano, 2018) ***Tabla 17***, se adoptan nuevos criterios que se consideran importantes para revisar el resultado anterior y verificar si la propuesta realizada por el ingeniero estructural es la más optima.

CATEGORÍA	CRITERIO
Arquitectónico	• Calidad • Velocidad de ejecución • Fuente de materiales • Flexibilidad arquitectónica • Facilidad de transporte y almacenamiento • Facilidad y frecuencia de mantenimiento
Constructivo	• Mano de obra • Tecnología • Flexibilidad constructiva • Capacidad de producción masiva
Económico	• Costo por metro cuadrado • Costo de mantenimiento
Social y cultural	• Aceptación por el usuario • Participación de la comunidad • Similitud a las viviendas tradicionales • Tamaño y forma de la vivienda
Ambiental	• Confort térmico y acústico • Protección ante acciones climáticas • Construcciones sostenibles

Tabla 17: *Criterios de valoración propuestos* (Domínguez & Cano, 2018)
Fuente: (Domínguez & Cano, 2018)

Según los criterios de selección propuestos por (Domínguez & Cano, 2018) se pueden tener 19 criterios para ser analizados cuando se requiera tomar una decisión multicriterio. Pero no se requiere que todos sean evaluados, basta con elegir aquellos que según las partes interesadas consideren determinantes para el proyecto.

7.5 Identificación de Expertos:

Para el proyecto Cartama, primero se socializa con la gerencia y la mesa técnica del proyecto la posibilidad de definir los criterios adicionales que se desean evaluar y sobre estos, determinar que variable se debe obtener al realizar los cálculos de cada alternativa.

7.6 Identificación de criterios:

Para lo anterior, la gerencia y los stakeholders definen que se deben analizar los siguientes criterios:

- **Costo**: Costo directo de construcción, ya valorados anteriormente.
- **Logística:** Facilidad de Transporte y almacenamiento, ya valorado anteriormente.
- **Productividad:** Velocidad de ejecución
- **Adaptabilidad Arquitectónica:** producidas por la implementación del sistema estructural y la distribución de paneles del proceso de frigorífico, soporte de los sistemas de refrigeración y RCI.

Para desarrollar el método, primero se caracterizan los criterios y se definen que variables o resultados obtener para cuantificarlos y organizarlos en una tabla resumen.

CRITERIOS	CONTEXTUALIZAR EL CRITERIO	VARIBLE ESPERADA DEL CRITERIO
COSTO	El presupuesto disponible es un factor determinante. Algunos sistemas pueden ser más costosos en términos de materiales, mano de obra o mantenimiento o distribución.	Se obtiene un costo en $
LOGÍSTICA	Facilidad de transporte y almacenamiento, velocidad para manipular el elemento, capacidad de producción masiva, fuente de materiales	m3 de concreto transportado y manejado en obra.
PRODUCTIVIDAD	Califica el tiempo que tarda el proceso constructivo con cada tipo de configuración entre ejes seleccionados para la prueba.	Se realiza una programación de obra para estimar los días.
ADAPTABILIDAD	califica como la configuración estructural se adapta a los requerimientos de la arquitectura y se ajusta a las solicitaciones del panel del frigorífico	Se realiza con los siguientes calificativos, según el método AHP, baja adaptabilidad (3), mediana adaptabilidad (5), muy adaptable (7).

Tabla 18: *Caracterización de Criterios - Variables esperadas*
Fuente: *Elaboración Propia*

A continuación, se desarrollan los cálculos con cada distribución para obtener los resultados:

El costo y la logística se obtuvieron en los resultados del análisis del diseñador estructural.

Ver ***Tabla 16***

PRODUCTIVIDAD								
Valoración: Se considera evaluar el tiempo de construcción de forma tradicional, utilizando un software de programación llamado Projetc, con el que se obtiene una ruta critica y el tiempo estimado de productividad por cada distribución de columnas a 6 ó 9 metros. Se considera que a mayor tiempo, mas desfavorable es el criterio evaluado.								
Consideraciones para Distribución cada 6m			**Consideraciones para Distribución cada 7.5m**			**Consideraciones para Distribución cada 9m**		
Nota: Un pilero se le entregan 2 pilas para que en un día, logre bajar y anillar 1 metro en cada una, es decir 2m por día		und	**Nota:** Un pilero se le entregan 2 pilas para que en un día, logre bajar y anillar 1 metro en cada una, es decir 2m por día		Und	**Nota:** Un pilero se le entregan 2 pilas para que en un día, logre bajar y anillar 1 metro en cada una, es decir 2m por día		Und
una pila se debe acabar en 6 días	6	día	una pila se debe acabar en 6 días	7	día	una pila se debe acabar en 6 días	7	día
Armado de parrilla y vaciado en 1 día	1	día	Armado de parrilla y vaciado en 1 día	1	día	Armado de parrilla y vaciado en 1 día	1	día
Armado y vaciado de nudo columna	1	día	Armado y vaciado de nudo columna	1	día	Armado y vaciado de nudo columna inferior	1	día
Armado y vaciado de nudo viga	1	día	Armado y vaciado de nudo viga	1	día	Armado y vaciado de nudo viga	1	día
Armado y vaciado de columnas primer tramo 4m	2	día	Armado y vaciado de columnas primer tramo 4m	2	día	Armado y vaciado de columnas primer tramo 4m	2	día
Armado y vaciado de vigas 1er tramo	2	día	Armado y vaciado de vigas 1er tramo	2	día	Armado y vaciado de vigas 1er tramo	2	día
Armado y vaciado de columnas 2do tramo 8m	2	día	Armado y vaciado de columnas 2do tramo 8m	2	día	Armado y vaciado de columnas 2do tramo 8m	2	día
Armado y vaciado de vigas 2do tramo	2	día	Armado y vaciado de vigas 2do tramo	2	día	Armado y vaciado de vigas 2do tramo	2	día
Armado y vaciado de columnas 3er tramo 12m	2	día	Armado y vaciado de columnas 3er tramo 12m	2	día	Armado y vaciado de columnas 3er tramo 12m	2	día
Armado y vaciado de vigas 3er tramo	2	día	Armado y vaciado de vigas 3er tramo	2	día	Armado y vaciado de vigas 3er tramo	2	día
TOTAL CICLO (día) =	**21**	**días**	**TOTAL CICLO (día) =**	**22**	**días**	**TOTAL CICLO (día) =**	**24**	**días**

Tabla 19: *cálculo de la productividad de diferentes distribuciones*
Fuente: *Elaboración propia.*

ADAPTABILIDAD
Valoración: Se considera evaluar como la configuración de paneles del frigorifico se ajustan a la estructura propuesta, partiendo de que los los páneles seleccionados para el frigorifico tienen un requermiento de fijación cada 6 metros..

Consideraciones para Distribución cada 6m	Consideraciones para Distribución cada 7.5m	Consideraciones para Distribución cada 9m
7 (muy adapatable)	**5 (mediana adaptabilidad)**	**3 (Baja Adaptabilidad)**

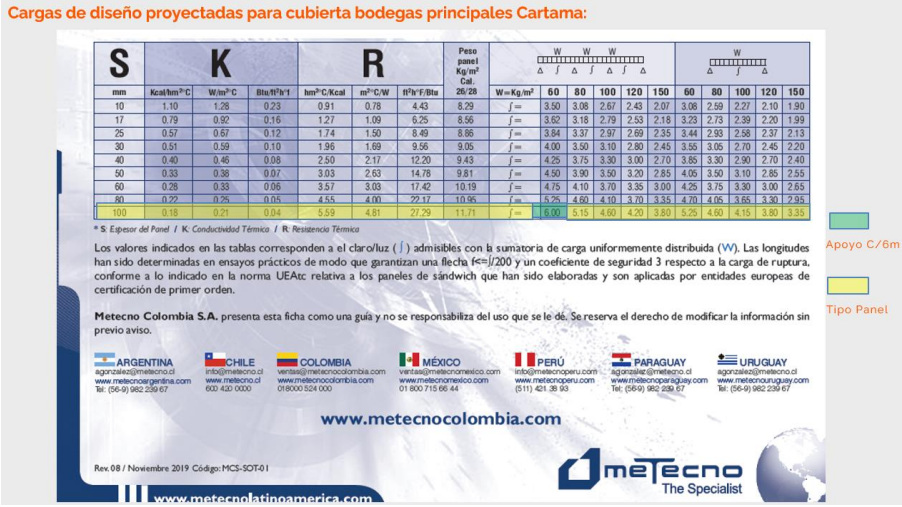


Tabla 20: *Valoración de la Adaptabilidad según la distribución estructural*
Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla de resultados de cálculo de criterios seleccionados para evaluar la mejor distribución de sistema estructural para el proyecto del caso de estudio.

TABLA DE VALORACIÓN DE CRITERIOS							
	Costo		Logistica		Adaptabilidad	Productividad	
	$ COP	% desv	m3	% desv		días	% desv
Columnas 6m	$1,255,760,549	100%	897.0	100%	Muy	21	100%
Columnas 7.5m	$1,227,084,209	98%	893.1	100%	Mediana	22	105%
Columnas 9m	$1,169,738,174	93%	866.9	97%	baja	24	114%

Tabla 21: *Consolidado de valoración de criterios.*
Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla de evaluación de criterios: En última instancia, esta tabla resume el análisis evaluativo y delinea el desempeño de cada alternativa en relación con los criterios ponderados. Las alternativas se evalúan y clasifican sistemáticamente en función de las ponderaciones extrapoladas de la matriz comparativa, lo que ofrece una perspectiva lúcida sobre qué opción es la más factible de acuerdo con los objetivos y las limitaciones del proyecto.

En el proceso jerárquico analítico (AHP), la tabla de evaluación de criterios desempeña un papel fundamental en la determinación de las prioridades entre los diversos factores de toma de decisiones. La metodología del AHP implica la construcción de un marco jerárquico en el que los criterios se organizan sistemáticamente en niveles, seguido de la formulación de una matriz de comparación por pares para evaluar la importancia relativa de cada criterio. Esta matriz permite a los responsables de la toma de decisiones articular sus evaluaciones, que posteriormente se utilizan para derivar vectores de ponderación mediante la normalización de los valores propios (Hou et al., 2023) (Moghtadernejad et al., 2019). El procedimiento de evaluación integra datos cualitativos y cuantitativos, lo que facilita un análisis exhaustivo de los criterios que abarcan la gestión, la planificación, el diseño arquitectónico y los materiales (Shahpari et al., 2020). Los resultados revelan una categorización priorizada de los criterios, lo que mejora la toma de decisiones informadas y tiene en cuenta las interrelaciones entre ellos (Ighravwe y Oke, 2019). Este enfoque sistemático aumenta la confiabilidad del proceso de toma de decisiones, particularmente en situaciones complejas en las que varios criterios requieren una evaluación simultánea.

7.7 Desarrollo del Modelo AHP:

7.7.1 Análisis de consistencia

Esta fase determina que las evaluaciones realizadas entre los criterios sean coherentes y racionales. Al calcular el índice de coherencia (CI) y el coeficiente de coherencia (CR), se confirma que las ponderaciones asignadas carecen de contradicciones sustanciales. Un índice de coherencia reducido significa que las decisiones son coherentes, lo que refuerza la credibilidad del modelo. (***Tabla 22***) (***Tabla 23***) (***Tabla 24***) (***Tabla 26***)

7.7.2 Matriz de comparación de criterios

Esta matriz es el componente fundamental del proceso jerárquico analítico (AHP), en el que todos los criterios se yuxtaponen entre sí, utilizando una escala de importancia relativa. Cada par de criterios se analiza minuciosamente en función de su contribución al objetivo general, y estas evaluaciones se convierten en ponderaciones numéricas que representan con precisión su importancia relativa. La matriz proporciona un marco lúcido y cuantificable para priorizar los diversos criterios involucrados. (***Tabla 22***) (***Tabla 23***) (***Tabla 24***) (***Tabla 26***).

La consistencia de estas comparaciones es crucial; se evalúa utilizando el índice de consistencia (CI) y la relación de consistencia (CR), donde un valor de CR menor a 0.1 indica consistencia aceptable (Hou et al., 2023) (Shahpari et al., 2020). Este método es particularmente efectivo para un pequeño número de criterios, ya que proporciona evaluaciones confiables y precisas de las preferencias (Moghtadernejad et al., 2019).

Sin embargo, a medida que aumenta el número de criterios, la complejidad de las comparaciones por pares puede conducir a desafíos para mantener la consistencia, lo que requiere un manejo cuidadoso de las interdependencias entre los criterios (Shahpari et al., 2020). En general, AHP facilita un enfoque sistemático de la toma de decisiones mediante la cuantificación de juicios subjetivos en un marco coherente (Ighravwe & Oke, 2019)

En primer lugar, se realiza una comparación de los criterios relevantes para la toma de decisiones, involucrando a tres expertos y stakeholders clave del proyecto. Cada uno de ellos elabora su propia matriz de comparación por pares, evaluando la importancia relativa de cada criterio en función del objetivo general del proyecto.

Una vez obtenidas las tres matrices individuales, se procede a calcular la **media geométrica** de las comparaciones realizadas por los tres expertos (***Tabla 25***). Este paso permite integrar las perspectivas de todos los actores en una única matriz de comparación de criterios, que representa de forma equilibrada las valoraciones de los participantes. Al calcular la media geométrica, se asegura que las discrepancias entre las evaluaciones individuales se ajusten de manera justa y objetiva.

La matriz resultante será la base para la evaluación de alternativas, ya que se utiliza para comparar las opciones disponibles en el proyecto, siguiendo el mismo proceso de comparación por pares. Las ponderaciones obtenidas de esta matriz final reflejan el consenso alcanzado entre los expertos y serán respetadas por los tres actores involucrados, garantizando que la decisión final se basa en una valoración conjunta y alineada con los objetivos del proyecto.

Este enfoque asegura que el proceso de toma de decisiones sea transparente, inclusivo y consistente con las expectativas de los stakeholders, a la vez que se sustenta en una metodología rigurosa y estructurada como la que ofrece el método AHP.

A continuación, se entregan los resultados de cada decisor y por último la matriz multidecisor con la que se desarrollará la comparación de alternativas.

DECISOR 1: GERENTE DE LA CONSTRUCTORA QUE DISEÑA EL PROYECTO

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS										PONDERACIÓN	
Criterios	Costo	Logística	Adaptabilidad	Productividad	MATRIZ NORMALIZADA				sumatoria	Promedio (Wi)	Porcentaje
Costo	1	5	1/2	3	0.28	0.28	0.25	0.42	1.23	0.30761884	31%
Logística	1/5	1	1/7	1/5	0.06	0.06	0.07	0.03	0.21	0.053056566	5%
Adaptabilidad	2	7	1	3	0.57	0.39	0.51	0.42	1.88	0.469404347	47%
Productividad	1/3	5	1/3	1	0.09	0.28	0.17	0.14	0.68	0.169920247	17%
TOTAL (N)	3.53	18.00	1.98	7.20	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00		100%

n=4

ANALISIS DE CONSISTENCIA					Prueba
nmax Costo	1.09	IC=	(nmax-n)/(n-1)	0.064	1.32
nmax Logística	0.96	CA=	1.98*(n-2)/n	0.990	0.22
nmax Desempeñ	0.93	RC=	IC/CA	0.065	1.97
nmax Productivi	1.22	Si **RC <0.1** se ha ponderado razonablemente			0.69
Nmax	*4.19*				*4.19*

IC	Indice de consistencia
CA	Consistencia aleatoria
RC	Relación de consistencia
Si RC <0.1 se ha ponderado razonablemente	

Resultado: Decisor 1 tiene un **RC: 0.065 < 0.1**, lo que indica que ponderó razonablemente.

Tabla 22: *Análisis de Consistencia y Matriz de comparación de Criterios DECISOR 1.*
Fuente: *Elaboración Propia.*

DECISOR 2: LIDER DE COSTOS Y PRESUPUESTOS DE LA CONSTRUCTORA

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS										PONDERACIÓN	
Criterios	Costo	Logística	Adaptabilidad	Productividad	MATRIZ NORMALIZADA				sumatoria	Promedio (Wi)	Porcentaje
Costo	1	9	3	5	0.61	0.38	0.68	0.54	2.20	0.550396592	55%
Logística	1/9	1	1/9	1/5	0.07	0.04	0.03	0.02	0.16	0.038993341	4%
Adaptabilidad	1/3	9	1	3	0.20	0.38	0.23	0.33	1.13	0.282197415	28%
Productividad	1/5	5	1/3	1	0.12	0.21	0.08	0.11	0.51	0.128412652	13%
TOTAL (N)	1.64	24.00	4.44	9.20	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00		100%
										n=4	

ANALISIS DE CONSISTENCIA					Prueba
nmax Costo	0.91	IC=	(nmax-n)/(n-1)	0.092	2.39
nmax Logística	0.94	CA=	1.98*(n-2)/n	0.990	0.16
nmax Adaptabilidad	1.25	RC=	IC/CA	0.093	1.20
nmax Productividad	1.18	Si **RC <0.1** se ha ponderado razonablemente			0.53
Nmax	*4.28*				*4.28*

IC	Indice de consistencia
CA	Consistencia aleatoria
RC	Relación de consistencia
Si RC <0.1 se ha ponderado razonablemente	

Resultado: Decisor 2 tiene un **RC: 0.093 < 0.1**, lo que indica que ponderó razonablemente

Tabla 23: *Análisis de Consistencia y Matriz de comparación de Criterios DECISOR 2*
Fuente: *Elaboración propia*

DECISOR 3: DIRECTOR DE DISEÑO DE INGENIERÍA DE FRIO DEL PROYECTO (INGENIERÍA ESTRUCTRANTE DEL PROYECTO)

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS										PONDERACIÓN	
Criterios	Costo	Logística	Adaptabilidad	Productividad	MATRIZ NORMALIZADA				sumatoria	Promedio (Wi)	Porcentaje
Costo	1	5	1	5	0.42	0.28	0.43	0.44	1.57	0.392078306	39%
Logística	1/5	1	1/9	1/3	0.08	0.06	0.05	0.03	0.22	0.054094394	5%
Adaptabilidad	1	9	1	5	0.42	0.50	0.43	0.44	1.79	0.447633861	45%
Productividad	1/5	3	1/5	1	0.08	0.17	0.09	0.09	0.42	0.106193439	11%
TOTAL (N)	2.40	18.00	2.31	11.33	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00		100%
										n=4	

ANALISIS DE CONSISTENCIA					Prueba
nmax Costo	0.94	IC=	(nmax-n)/(n-1)	0.051	1.64
nmax Logística	0.97	CA=	1.98*(n-2)/n	0.990	0.22
nmax Adaptabilidad	1.03	RC=	IC/CA	0.051	1.86
nmax Productividad	1.20	Si RC <0.1 se ha ponderado razonablemente			0.44
Nmax	4.15				4.15

IC	Indice de consistencia
CA	Consistencia aleatoria
RC	Relación de consistencia
Si RC <0.1 se ha ponderado razonablemente	

Resultado: Decisor 3 tiene un **RC: 0.051 < 0.1**, lo que indica que ponderó razonablemente

Tabla 24: *Análisis de Consistencia y Matriz de comparación de Criterios DECISOR 3*
Fuente: *Elaboración Propia*

7.7.3 Media Geométrica en AHP

En el contexto del AHP, cuando varios expertos o stakeholders participan en la comparación de criterios, cada uno genera su propia matriz de comparaciones por pares. Para llegar a una decisión consensuada, se requiere una forma de integrar las diferentes opiniones sin dar prioridad a una sobre las otras. Aquí es donde entra la media geométrica: al calcular la media geométrica de las comparaciones hechas por los expertos, se obtiene una matriz única y representativa de las tres matrices individuales.
Este enfoque tiene varias ventajas:

- **Equidad:** La media geométrica trata todos los valores por igual, sin que un experto domine sobre los demás.
- **Consenso:** Permite llegar a una única matriz de comparación que refleja las percepciones conjuntas de los expertos.
- **Consistencia:** Asegura que el resultado final esté basado en un promedio matemático que respete las relaciones multiplicativas de las comparaciones por pares.

La matriz resultante se utiliza luego para comparar las alternativas y obtener las ponderaciones finales, que serán respetadas por todos los actores involucrados.

Paso	Descripción	Formulación Matricial
Estimación de la Media Geométrica de los decisores	Cuando la decisión tiene 2 ó mas personas que requieren ser tenidos en cuenta, se debe realizar el cálculo de la media geométrica de sus matrices de comparación de criterios. Para que al final solo se obtenga una ÚNICA matriz de ponderación de criterios que permita evaluar las alternativas.	para cada posición ***i, j*** de las matrices, se calcula la media geométrica con la formula: $$GM_{IJ} = \sqrt[n]{A_{IJ}^1 * A_{IJ}^2 * A_{IJ}^3 * A_{IJ}^n}$$

Tabla 25: *Paso para calcular la media geométrica de los n decisores*

Fuente: *Elaboración propia*

MULTIDECISOR: RESULTADO DE LA MEDIA GEOMÉTRICA DE LOS 3 DECISORES

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS										PONDERACIÓN	
Criterios	Costo	Logística	Adaptabilidad	Productividad	MATRIZ NORMALIZADA				sumatoria	Promedio (Wi)	Porcentaje
Costo	1.0	6.1	1.1	4.2	0.44	0.31	0.45	0.47	1.67	0.416929254	42%
Logística	0.2	1.0	0.1	0.2	0.07	0.05	0.05	0.03	0.20	0.049276394	5%
Adaptabilidad	0.9	8.3	1.0	3.6	0.38	0.42	0.39	0.39	1.59	0.398539579	40%
Productividad	0.2	4.2	0.3	1.0	0.10	0.22	0.11	0.11	0.54	0.135254772	14%
TOTAL (N)	2.28	19.58	2.55	9.01	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00		100%
										n=4	

ANALISIS DE CONSISTENCIA MULTIDECISOR					Prueba
nmax Costo	0.95	**IC=**	(nmax-n)/(n-1)	0.049	1.74
nmax Logística	0.96	**CA=**	1.98*(n-2)/n	0.990	0.20
nmax Adaptabilidad	1.01	**RC=**	IC/CA	**0.049**	1.65
nmax Productividad	1.22	Si **RC <0.1** se ha ponderado razonablemente			0.55
Nmax	*4.15*				*4.15*

IC	Indice de consistencia
CA	Consistencia aleatoria
RC	Relación de consistencia
Si RC <0.1 se ha ponderado razonablemente	

Resultado: Análisis de consistencia en la matriz multidecisor tiene un **RC: 0.049 < 0.1**, lo que indica que ponderó razonablemente.

Tabla 26: *Análisis de Consistencia y Matriz de comparación de Criterios MULTIDECISOR*
Fuente: *Elaboración propia*

7.7.4 Comparación de pares

En este marco analítico, las alternativas se evalúan sistemáticamente entre sí para cada criterio, empleando una escala de significación relativa similar a la utilizada en la matriz de comparación de criterios. Este proceso requiere evaluar, por ejemplo, cuál de las dos alternativas demuestra ser más favorable en términos de costo, adaptabilidad o cualquier otro criterio pertinente, así como el grado en que este es el caso. (***Tabla 27***)

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS								
CRITERIO : Costo				**MATRIZ NORMALIZADA**			**SUMATORIA**	**PONDERACIÓN**
Criterios	**Columnas a 6m**	**Columnas a 7.5**	**Columnas a 9m**					
Columnas a 6m	1	1/2	1/3	0.17	0.14	0.18	0.49	**16%**
Columnas a 7.5	2	1	1/2	0.33	0.29	0.27	0.89	**30%**
Columnas a 9m	3	2	1	0.50	0.57	0.55	1.62	**54%**
TOTAL	6.00	3.50	1.83	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**3.00**	**100%**
							n = 2	
CRITERIO : Logística				**MATRIZ NORMALIZADA**			**SUMATORIA**	**PONDERACIÓN**
Criterios	**Columnas a 6m**	**Columnas a 7.5**	**Columnas a 9m**					
Columnas a 6m	1	2/3	1/3	0.18	0.31	0.10	0.59	**20%**
Columnas a 7.5	1 1/2	1	2	0.27	0.46	0.60	1.33	**44%**
Columnas a 9m	3	1/2	1	0.55	0.23	0.30	1.08	**36%**
TOTAL	5.50	2.17	3.33	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**3.00**	**100%**
CRITERIO : Adaptabilidad				**MATRIZ NORMALIZADA**			**SUMATORIA**	**PONDERACIÓN**
Criterios	**Columnas a 6m**	**Columnas a 7.5**	**Columnas a 9m**					
Columnas a 6m	1	3	5	0.65	0.69	0.56	1.90	**63%**
Columnas a 7.5	1/3	1	3	0.22	0.23	0.33	0.78	**26%**
Columnas a 9m	1/5	1/3	1	0.13	0.08	0.11	0.32	**11%**
TOTAL	1.53	4.33	9.00	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**3.00**	**100%**
CRITERIO : Productividad				**MATRIZ NORMALIZADA**			**SUMATORIA**	**PONDERACIÓN**
Criterios	**Columnas a 6m**	**Columnas a 7.5**	**Columnas a 9m**					
Columnas a 6m	1	3	5	0.65	0.69	0.56	1.90	**63%**
Columnas a 7.5	1/3	1	3	0.22	0.23	0.33	0.78	**26%**
Columnas a 9m	1/5	1/3	1	0.13	0.08	0.11	0.32	**11%**
TOTAL	1.53	4.33	9.00	**1.00**	**1.00**	**1.00**	**3.00**	**100%**

***Tabla 27**: Matriz de comparación de alternativas.*
***Fuente:** Elaboración propia.*

7.7.5 Asignación de ponderaciones

Las comparaciones se operacionalizan mediante la aplicación de valores numéricos que indican la preferencia relativa entre las alternativas. Esto da como resultado la formación de una matriz cuadrada en la que cada elemento representa la comparación de una alternativa con otra según un criterio designado. Las ponderaciones derivadas de este proceso facilitan el cálculo de una puntuación final para cada alternativa en relación con el criterio objeto de examen. (***Tabla 27***)

Resumen de los resultados: Una vez completada la matriz que abarca todos los criterios, los resultados se combinan para obtener una clasificación completa de las alternativas. Esta síntesis incorpora la ponderación de los criterios y las evaluaciones de las

alternativas, lo que permite identificar la opción más adecuada para el proyecto sobre la base de un análisis exhaustivo y equitativo. (***Tabla 28***)

7.7.6 La priorización

Representa el resultado final y el objetivo principal de la metodología del proceso jerárquico analítico (AHP). Este procedimiento concluye con la categorización sistemática de las alternativas existentes de acuerdo con su idoneidad para cumplir los objetivos del proyecto, basándose en un examen meticuloso y cuantitativo de todos los criterios pertinentes. Dando como conclusión que la priorización es por la alternativa 1 de distribución de columnas a 6m. Tal y como se puede ver en la (***Tabla 28***)

SELECCIÓN DE TIPO DE DISTRIBUCIÓN DE COLUMNAS - CARTAMA					PRIORIZACIÓN
Alternativa/Criterios	COSTO	LOGISTICA	ADAPTABILIDAD	PRODUCTIVIDAD	
Columnas a 6m	0.16	0.20	0.63	0.63	41.6%
Columnas a 7.5	0.30	0.44	0.26	0.26	28.5%
Columnas a 9m	0.54	0.36	0.11	0.11	29.9%
PONDERACIÓN	0.42	0.05	0.40	0.14	

Conclusión: La mejor alternativa con un 41.6% de Priorización es la **Columnas a 6m**

Tabla 28: *Priorización de la mejor alternativa según el método AHP.*
Fuente: *Elaboración propia.*

7.7.7 Comparación de los Pasos del Caso de Estudio con el Método AHP:

En la siguiente (***Tabla 29****: Cumplimiento de los pasos del caso de estudio con el Método AHP.*) se presenta un cuadro comparativo que sintetiza los pasos desarrollados durante el ejercicio aplicado al proyecto Cartama, contrastando cada uno con las directrices metodológicas del Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Esta tabla tiene como objetivo orientar al lector sobre

la rigurosidad del proceso seguido teniendo en cuenta los criterios del método AHP, resaltando cómo cada etapa fue alineada con las recomendaciones del método AHP. Adicionalmente, se incluyen las fórmulas matemáticas y matrices utilizadas en cada paso, lo que permite validar la consistencia del análisis y asegurar la robustez de los resultados obtenidos.

El análisis detallado de cada fase no solo confirma el cumplimiento del método, sino que también demuestra cómo la formulación analítica del AHP, con sus comparaciones por pares y verificaciones de consistencia, permitió llegar a una decisión informada. Este proceso de priorización ha sido esencial para seleccionar la configuración de columnas más adecuada para el proyecto, maximizando tanto los beneficios operativos como los económicos. La tabla sirve, por tanto, como una herramienta integradora que refleja la relación entre la teoría y la práctica en la toma de decisiones basada en AHP.

Paso	Descripción	Método AHP	Cumplimiento	Fórmula o Ejemplo de Matriz
1. Definición del problema	Se definió que el objetivo era elegir la mejor configuración de columnas (6m, 7.5m, 9m) según diversos criterios	Definición de la estructura jerárquica (objetivo, criterios, alternativas)	Cumplido	No aplica fórmula en esta etapa. Es una representación jerárquica.
2. Identificación de criterios	Se identificaron 4 criterios: Costo, Logística, Productividad, Adaptabilidad	AHP permite jerarquizar criterios según su relevancia para la decisión	Cumplido	No aplica fórmula, pero la estructura jerárquica sigue siendo visualizada.
3. Comparación de criterios	Se hicieron comparaciones por pares entre los criterios para ponderar su importancia relativa	AHP requiere matriz de comparación por pares para ponderación de criterios	Cumplido con matriz de consistencia (RC < 0.1)	**Matriz de comparación por pares**: $\begin{pmatrix} 1 & 3 & 1/5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 1/7 & 5 \\ 5 & 7 & 1 & 9 \\ 1/7 & 1/5 & 1/9 & 1 \end{pmatrix}$
4. Comparación de alternativas	Se compararon las 3 alternativas (6m, 7.5m, 9m) según cada criterio	AHP genera una matriz para comparar alternativas según los criterios seleccionados	Cumplido con matriz de comparación y cálculo de prioridades	**Matriz de comparación para alternativas bajo un criterio**: $B = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 7 \\ 1/5 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}$
5. Cálculo de prioridades	Se calcularon los pesos finales para cada alternativa (separación de columnas)	AHP utiliza multiplicación matricial para calcular el vector de prioridades	Cumplido	**Cálculo de vectores de prioridad**: Multiplicación de la matriz de comparación normalizada para obtener el vector de prioridades.
6. Verificación de consistencia	Se verificó la consistencia de las comparaciones	AHP requiere un índice de consistencia menor a 0.1	Cumplido con índices de consistencia correctos (RC < 0.1)	**Índice de Consistencia (IC)**: $IC = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$ donde λ_{max} es el valor propio máximo de la matriz, y n es el número de elementos en la matriz.
7. Selección de la alternativa óptima	Se seleccionó la configuración a 9 metros como la mejor alternativa	AHP culmina con la selección de la alternativa con mayor prioridad	Cumplido	**Selección de la alternativa**: Se selecciona la alternativa con el mayor valor en el vector de prioridades.

***Tabla 29**: Cumplimiento de los pasos del caso de estudio con el Método AHP.*
***Fuente:** Elaboración propia.*

7.7.8 Síntesis de la Estructura gráfica del método AHP, aplicado al caso de Estudio – Cartama

La siguiente (***Ilustración 25***) muestra la estructura jerárquica empleada en el análisis del proyecto Cartama asociada al método AHP, enfocada en la selección de la mejor configuración estructural para las columnas del proyecto. A través de la metodología AHP (Proceso Analítico Jerárquico), se identificaron cuatro criterios clave: Costo, Logística, Productividad y Adaptabilidad Arquitectónica, los cuales guían la evaluación de tres alternativas de separación de columnas: 6 metros, 7.5 metros y 9 metros. Este esquema visual resalta cómo los diferentes criterios impactan la decisión final, proporcionando una clara representación del proceso de toma de decisiones y su justificación técnica.

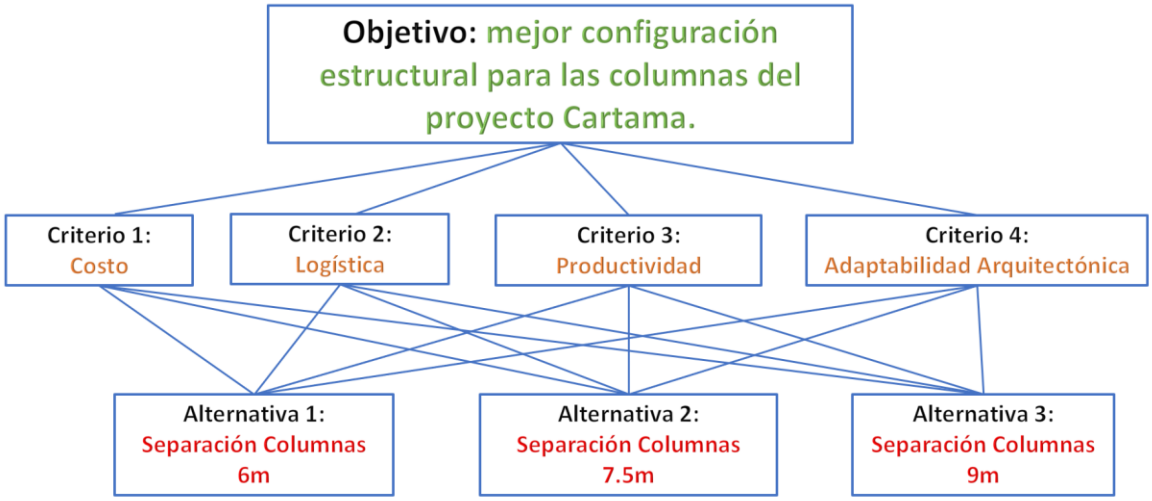


Ilustración 25: *Estructura gráfica del método AHP asociado al caso de estudio – Cartama.*
Fuente: *Elaboración propia.*

7.8 Resultado

Se obtiene una priorización del **41.6%** por la distribución de columnas a **6 metros**, luego de que inicialmente, se valorará solo el criterio del ingeniero estructural y este indicará que la mejor elección estaba en la distribución de columnas a **9 metros**, pero no se tomó en cuenta la importancia de la adaptabilidad arquitectónica del sistema constructivo.

El proceso de priorización inherente al Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) transforma un análisis complejo y sistemático en un marco coherente para la toma de decisiones, lo que garantiza que la alternativa elegida sea congruente con los objetivos del proyecto y maximice los resultados de acuerdo con todos los criterios evaluados. Esta metodología no solo aclara la elección óptima, sino que también proporciona una justificación sólida para la decisión, basada en un análisis exhaustivo y equitativo.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones Objetivo 1 – Mapeo Sistemático:

Mejoras en la Productividad:

El análisis de la productividad en la industria de la construcción revela que aproximadamente el 90% de las investigaciones destacan problemas relacionados con la planificación, optimización y gestión. Este hallazgo subraya una necesidad urgente de mejorar y sofisticar los procesos constructivos para reducir costos, aumentar la eficiencia, y minimizar los tiempos de ejecución y los reprocesos. La implementación de tecnologías avanzadas y metodologías de gestión modernas puede ser crucial para cerrar estas brechas de productividad.

Gestión de Riesgos:

Alrededor del 70% de los estudios revisados señalan la gestión de riesgos como un factor crítico en la construcción. Las investigaciones identifican diversas amenazas y oportunidades que pueden afectar el desarrollo sostenible del sector, tanto desde una perspectiva gerencial como ambiental. Es esencial que las empresas constructoras adopten enfoques proactivos en la gestión de riesgos, utilizando herramientas y metodologías robustas para identificar, evaluar y mitigar riesgos de manera efectiva.

Análisis Decisional:

La mayoría de las investigaciones (91%) sugieren o utilizan modelos de análisis decisional para apoyar la toma de decisiones en la construcción. Estos modelos son vitales para integrar criterios relevantes y complejos en la toma de decisiones, mejorando la precisión y la efectividad de las mismas. La aplicación de métodos como el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) ha demostrado ser especialmente útil en contextos específicos, como en la distribución de columnas en la superestructura del proyecto de la planta industrial de aguacates, facilitando decisiones más informadas y estructuradas.

8.2 Conclusiones Objetivo 2: Relacionamiento de Modelos gerenciales y Métodos Decisionales

Importancia de la Gestión de Riesgo: La gestión eficiente del riesgo es crucial para el éxito de los proyectos de construcción. El documento enfatiza que la integración de tecnologías avanzadas, puede mejorar significativamente la gestión de riesgos al identificar los riesgos potenciales de manera temprana y mejorar la comunicación entre las partes interesadas

Ingeniería de Valor: Se destaca el concepto de Ingeniería de Valor como método para mejorar el valor del proyecto mediante el análisis de funciones y la búsqueda de alternativas rentables. Este enfoque no solo ayuda a reducir costos sino que también asegura que se mantenga la calidad del proyecto, mejorando así los resultados generales del proyecto.

Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA): Se aboga por el uso de métodos MCDA, como AHP y Teoría de Utilidad de Atributos Múltiples (MAUT), para evaluar alternativas y tomar decisiones informadas. Estos métodos ayudan a cuantificar las incertidumbres y abordar factores subjetivos, que son esenciales para la toma de decisiones efectiva en entornos de construcción complejos.

En resumen, se subraya la interconexión de la administración de riesgos, la ingeniería de valor, las prácticas Lean y la SCM efectiva para lograr la eficiencia operativa y el éxito del proyecto en la industria de la construcción. Al aprovechar estas estrategias, las organizaciones no solo pueden mitigar los riesgos, sino también optimizar sus recursos para obtener mejores resultados financieros y operacionales.

8.3 Conclusiones Objetivo 3 – Caso de Estudio:

Eliminación de sesgos en el proceso de diseño: El uso del método AHP en la toma de decisiones estructurales permite una evaluación objetiva de múltiples criterios, eliminando así el sesgo inherente al diseñador. A través de este enfoque, es posible integrar

dimensiones clave como el costo, la logística, la productividad y la adaptabilidad arquitectónica, las cuales no siempre son contempladas desde un punto de vista estrictamente técnico. De esta manera, el proceso de diseño se torna más equilibrado, asegurando que las decisiones se alineen con los intereses del cliente y las exigencias del mercado, lo que resulta en una estructura más eficiente y competitiva.

Diseños más competitivos y eficientes: Al aplicar el AHP, se evita la limitación de depender exclusivamente de la experiencia o percepción subjetiva del diseñador estructural. Este método fomenta una visión holística del proyecto, donde cada alternativa es evaluada en función de su contribución a diferentes objetivos, garantizando que el diseño final no solo cumpla con los estándares técnicos, sino que también responda a factores como la optimización de recursos y la competitividad en el mercado. Así, se mejora la eficiencia del diseño y se maximiza el valor para el cliente.

La conclusión más relevante de este análisis es la diferencia entre la propuesta inicial del diseñador estructural, quien recomendó una separación de columnas de 9 metros, y el resultado obtenido mediante el método AHP, que priorizó una separación de 6 metros. Esta disparidad se puede atribuir al hecho de que el diseñador estructural, en su enfoque tradicional, se centró principalmente en la estabilidad técnica y económica desde su perspectiva especializada. Sin embargo, al aplicar el AHP, se incluyeron otros criterios como la logística, la productividad y la adaptabilidad arquitectónica, los cuales revelaron que una separación de 6 metros ofrecía un mejor equilibrio en términos de eficiencia operativa y competitividad para el proyecto. Este resultado evidencia cómo el AHP permite obtener una visión más holística del diseño, considerando aspectos que pueden no ser evidentes bajo un análisis unidimensional.

8.4 Recomendaciones

Implementación de Modelos de Análisis Decisional en la Gestión de Proyectos:

Se recomienda que las empresas constructoras adopten y utilicen modelos de análisis decisional avanzados, como el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), en la gestión de sus proyectos. Estos modelos permiten una evaluación más precisa y estructurada de múltiples criterios que influyen en la toma de decisiones, mejorando así la eficiencia y la efectividad de los procesos constructivos. La integración de estos modelos en la fase de planificación

y ejecución puede ayudar a identificar las mejores opciones para la distribución de recursos, la selección de tecnologías y la mitigación de riesgos, contribuyendo significativamente a mejorar la productividad y reducir los costos operativos.

Establecimiento de Políticas de Gestión de Riesgos Estandarizadas:

Se recomienda desarrollar e implementar políticas de gestión de riesgos estandarizadas que puedan ser aplicadas a lo largo de todos los proyectos de construcción. Estas políticas deben incluir procedimientos claros para la identificación, evaluación, y mitigación de riesgos, así como para la gestión de incidencias y la toma de decisiones en situaciones críticas. La estandarización de estos procesos no solo mejorará la capacidad de respuesta ante riesgos potenciales, sino que también promoverá una cultura de seguridad y prevención dentro de la organización, reduciendo así la incidencia de problemas inesperados y mejorando la sostenibilidad y el éxito a largo plazo de los proyectos de construcción.

9. Marco decisional AHP-EV en Estructurar S.A.S.

Para el marco de Ingeniería de Valor (EV) apoyado en el método decisional jerárquico AHP, se estructura el enfoque en cómo ambos métodos se complementan para optimizar la toma de decisiones en proyectos de construcción. A continuación, se propone un esquema detallado para este marco de gestión:

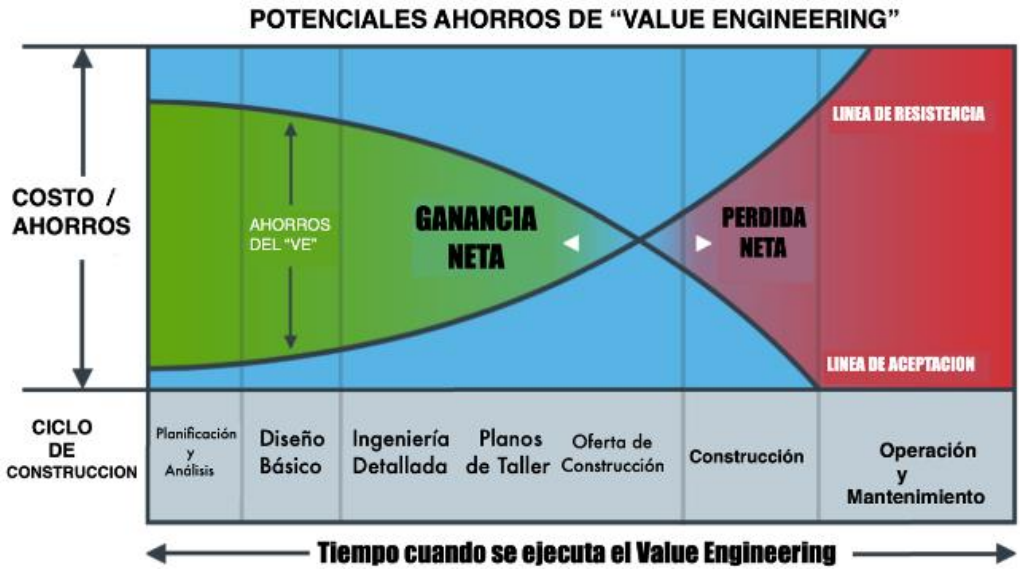
1. Introducción al Marco de Gestión Decisional

Objetivo del Marco: Es integrar los principios de Ingeniería de Valor con el método AHP (Proceso Analítico Jerárquico) para optimizar la toma de decisiones en la estructuración de los proyectos de construcción. Este enfoque busca maximizar el valor de los proyectos al proporcionar un marco estructurado que equilibre eficazmente los aspectos de costo, función, calidad y sostenibilidad. Tal y como se puede ver en (***Ilustración 26***)

La combinación de Ingeniería de Valor y AHP permitirá a los equipos de proyecto:

- Mejorar la Eficiencia en la Toma de Decisiones: Aplicar AHP para estructurar y priorizar decisiones complejas, asegurando que las alternativas sean evaluadas de manera sistemática y objetiva en función de múltiples criterios.
- Optimizar el Valor del Proyecto: Utilizar los principios de Ingeniería de Valor para identificar y optimizar las funciones esenciales del proyecto, reduciendo costos innecesarios sin comprometer la calidad ni la funcionalidad.
- Facilitar la Evaluación y Selección de Alternativas: Integrar AHP en el proceso de Ingeniería de Valor para evaluar y seleccionar las alternativas más efectivas, garantizando que se maximice el valor general del proyecto.
- Promover la Sostenibilidad y la Calidad: Asegurar que las decisiones tomadas no solo optimicen el costo y la función, sino que también consideren el impacto ambiental y los estándares de calidad.

Ilustración 26: *Potenciales de ahorro en Ingeniería de valor VI.*



Fuente: *https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2015/07/ (2024)*

2. Conceptos Clave

Ingeniería de Valor: La Ingeniería de Valor, desarrollada por Larry Miles en la década de 1940[2], se basa en una serie de principios que buscan maximizar el valor de un proyecto o producto al balancear funcionalidad y costos. Larry Miles formuló el concepto con la pregunta "¿Cuánto valen las cosas?" en mente, enfocándose en mejorar el valor mediante la optimización de funciones y reducción de costos. Los principios fundamentales de la Ingeniería de Valor incluyen:

Enfoque en la Funcionalidad: El valor de un proyecto o producto está determinado por la relación entre su función y su costo.

Optimización del Costo: Reducir el costo sin comprometer la calidad o funcionalidad.

Análisis de Valor: Evaluar el valor de cada componente del proyecto en función de su coste y su contribución a la funcionalidad total.

[2] Miles, L. D. (1972). *Value engineering: A systematic approach to improving value in products and services*. McGraw-Hill.

Creatividad y Generación de Alternativas: Buscar soluciones innovadoras que cumplan con las funciones requeridas de manera más eficiente.

Colaboración y Participación de Stakeholders: Involucrar a todos los interesados relevantes en el proceso para asegurar que las decisiones reflejen sus necesidades y expectativas.

Análisis Sistemático y Estructurado: Utilizar un enfoque estructurado para analizar y mejorar el valor.

Enfoque en el Ciclo de Vida: Considerar el valor a lo largo del ciclo de vida del proyecto o producto.

Proceso AHP:

El método AHP (Proceso Analítico Jerárquico) fue desarrollado por Thomas L. Saaty en la década de 1970[3]. Este método se basa en una serie de principios que permiten estructurar y priorizar decisiones complejas al descomponer un problema en una jerarquía de criterios y alternativas. Los principios fundamentales del AHP son:

Descomposición del Problema: Descomponer el problema complejo en una jerarquía de componentes más manejables, como objetivos, criterios, subcriterios y alternativas.

Comparaciones Pareadas: Evaluar la importancia relativa de los elementos en cada nivel de la jerarquía mediante comparaciones pareadas.

Escala de Valoración: Utilizar una escala de valoración numérica del 1 al 9, para expresar la intensidad de preferencia entre pares de elementos.

Construcción de Matrices de Comparación: Crear matrices de comparación pareada para cada nivel de la jerarquía, donde las filas y columnas representan los elementos a comparar.

Cálculo de Prioridades: Determinar las prioridades de los elementos utilizando el cálculo de valores propios y normalización.

---

[3] Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.

Consistencia: Evaluar y asegurar la consistencia en las comparaciones realizadas.

Agregación de Preferencias: Agregar las prioridades de los elementos en diferentes niveles para obtener una evaluación global.

Revisión y Sensibilidad: Revisar y analizar la sensibilidad de los resultados a los cambios en las comparaciones o en los datos de entrada.

Aplicación: Evaluar cómo las variaciones en las valoraciones afectan los resultados y ajustar las decisiones si es necesario.

3. Fases del Marco de Ingeniería de Valor con AHP

Fase 1: Información

En esta fase, el objetivo principal es recolectar datos y definir los componentes más costosos y sensibles del proyecto. Primero, se revisa el presupuesto de la fase 1 del proyecto para identificar los componentes que tienen un alto impacto en los costos. Se elabora una tabla con los valores obtenidos y se documenta una descripción de estos componentes, destacando su costo y sensibilidad. A continuación, se establecen alternativas para modificar estos componentes, buscando innovaciones o ajustes que puedan reducir costos sin comprometer la calidad. Finalmente, se lleva a cabo una entrevista con el cliente utilizando una matriz AHP si hay más de cuatro criterios, para identificar y priorizar sus expectativas en cuanto a costo y tiempo. El entregable de esta fase incluye la tabla con los valores del presupuesto, el documento con la descripción de los componentes sensibles, el documento con las alternativas propuestas, y un documento con los criterios priorizados respaldado por AHP si es necesario.

Fase 2: Análisis Funcional

El propósito de esta fase es elegir y evaluar la comparación de criterios para asegurar la consistencia. Se inicia con una reunión con los stakeholders para definir y acordar una lista de criterios relevantes para el proyecto. Estos criterios se evalúan mediante entrevistas y el uso del método AHP para construir una matriz que permita verificar la consistencia de cada criterio. Posteriormente, se unifican las matrices de criterios provenientes de los stakeholders, combinando la información con la entrevista al cliente mediante la media geométrica para obtener una matriz consolidada. Los entregables de esta fase incluyen

una lista de criterios comunes, una matriz con el análisis de consistencia, y una matriz única con criterios consolidados.

Fase 3: Generación de Alternativas

Esta fase se enfoca en desarrollar y evaluar alternativas al convertir los criterios en variables cuantificables. Se comienza por convertir los criterios previamente definidos en variables que se puedan medir y cuantificar. Se elabora una tabla en la que se contextualizan los criterios y se define qué variable se medirá para cada uno. A continuación, se cuantifican las alternativas disponibles en función de estas variables, creando una tabla de valoración de criterios que facilite la comparación de las distintas opciones. Los entregables de esta fase son la tabla de criterios con las variables asociadas y la tabla de valoración de criterios.

Fase 4: Evaluación y Selección de Alternativa

El objetivo de esta fase es obtener una priorización y seleccionar la mejor alternativa disponible. Se evalúan las alternativas propuestas en función de los criterios establecidos y se realiza un análisis comparativo utilizando AHP para determinar cuál alternativa ofrece el mejor equilibrio entre los criterios. La selección final se basa en la matriz que presenta la solución óptima según el análisis realizado. El entregable principal de esta fase es una matriz que muestra la solución única y priorizada.

Fases de Ingeniería de Valor	Objetivo	Actividades	herramienta / Insumo para Lograrlo	Entregable
Fase 1: Información	Recolectar datos y definir o identificar el (los) componente(s) mas costoso(s) y sensible(s) del proyecto.	Revisar el presupuesto fase 1 del proyecto.	**Presupuesto** fase 1 - del Anteproyecto	**Tabla** con los valores obtenidos en la revisión del presupuesto.
		Describir el (los) componentes del proyecto mas costosos y sensibles	**Presupuesto** fase 1 - del Anteproyecto	**Documento** con descripción de (los) componentes mas sensibles y justificación.
		Establecer alternativas para cambio de los componentes mas costosos del proyecto (Innovación, calidad, costo)	**Tabla y Documento** de las actividades precedentes	**Documento** con alternativas
		Establecer las prioridades del cliente, para identificar su expectativa en Costo y Tiempo	**Entrevista** al cliente usando **matriz AHP** (si son mas de 4 criterios) para establecer su expectativa en el proyecto enfocada en establecer prioridades de Costo y Tiempo	**Documento** con criterios priorizados. (Soportado con AHP de ser necesario)
Fase 2: Análisis Funcional	Elegir y evaluar comparación de criterios (Análisis de consistencia)	Reunión con stakeholders para definir la lista de criterios propuestos (min 3)	Entrevista para definir y criterios	**Lista de criterio**s comunes elegidos por los stakeholders
		Evaluación de criterios con los stakeholders	Uso del AHP para evaluar a cada stakeholders de forma individual y construir una matriz con verificación de consistencia única	**Matriz** con análisis de consistencia única
		Unificación de matriz de criterios para establecer una sola matriz de criterios.	matriz de los stakeholders y tener en cuenta la entrevista del cliente. (Usando la media geométrica)	**Matriz única** con criterios consolidados.
Fase 3: Generación de Alternativas	Desarrollar y evaluar alternativas - Convertir Criterios en variables y cuantificarlas	Convertir los criterios en variables	Lista de criterios, se contextualizan y se define que variable se va medir en el criterio.	**Tabla** de criterios, con contexto y variable asociada al criterio
		Cuantificar las alternativas en función de los criterios	Con la tabla de variables de cada criterio y la lista de las alternativas, se cuantifica cada una.	**Tabla** de valoración de criterios
Fase 4: Evaluación y Selección de Alternativa	Obtener la priorización al Comparar y seleccionar la mejor alternativa	Evaluar las alternativas en función de los criterios	AHP, análisis comparativo	**Matriz** única solución.

Tabla 30: *Fases de propuesta de desarrollo de marco de Ingeniería de valor aplicando la herramienta decisional AHP.*
Fuente: *Elaboración Propia*

4. Conclusiones

Los beneficios de implementar un marco de Ingeniería de Valor apoyado en el método AHP (Proceso Analítico Jerárquico) son numerosos y pueden impactar significativamente en la gestión de proyectos de construcción en Estructurar S.A.S. A continuación, se destacan los principales beneficios:

Optimización de Costos: Al analizar y comparar alternativas, el marco permite identificar soluciones más económicas sin comprometer la calidad del proyecto. Esto ayuda a reducir costos innecesarios y mejorar la eficiencia del presupuesto. Para el caso Cartama se logra que para un tenor estimado de 46kg/m2 identificado en la fase de conceptualización, se bajara a 32 kg/m2, en la fase de ingeniería de detalle, lo que representa una reducción en peso de la cubierta de 501 toneladas de acero a 320 toneladas de acero.

Mejora en la Toma de Decisiones: El uso de AHP facilita la toma de decisiones estructuradas al evaluar criterios complejos de manera jerárquica. Esto asegura que las decisiones sean más objetivas y basadas en una evaluación exhaustiva de las opciones disponibles. En el proyecto de estudio este aspecto evidencio, que los argumentos de las partes interesadas, fuera valorado y ponderado con el método AHP, y en los resultados se pudo evidenciar que permitir ampliar los criterios de definición estructural se obtuvieran ahorros significativos en el peso de la estructura.

Alineación con las Prioridades del Cliente: El marco permite establecer y priorizar claramente las expectativas y requisitos del cliente. Esto garantiza que las decisiones se alineen con las necesidades y valores del cliente, mejorando la satisfacción y el cumplimiento de sus expectativas. Para el caso de estudio, el cliente tuvo una mejor retroalimentación y fuentes de datos estructuradas de forma jerárquica que le permitieron que el cliente conociera los ahorros logrados por la aplicación del método AHP y esto permitió una viabilidad financiera del proyecto, cumpliendo así con la expectativa del cliente de lograr una ingeniería competitiva.

Identificación y Mitigación de Riesgos: Al descomponer el proyecto en funciones clave y analizar alternativas, el marco ayuda a identificar posibles riesgos y proporciona opciones para mitigarlos, lo que reduce la probabilidad de problemas futuros. Esto ayudó a definir prioridades y compararlas con los objetivos técnicos y de alcance en costos, lo que brindó un panorama decisional más detallado para el cliente respecto a costo beneficio y su ponderación contextual de riegos.

Fomento de la Innovación: El proceso de generación y evaluación de alternativas promueve la creatividad y la búsqueda de soluciones innovadoras que pueden ofrecer beneficios adicionales en términos de costo, tiempo o calidad. Para Estructurar S.A.S. este

trabajo pudo ofrecer una mirada al mejoramiento de la gestión y la promoción de oportunidades para innovación no disruptiva, es decir implementar mejoras incrementales que mejoren la eficiencia en el uso de información estructurada y su potencial complementario con el uso de tecnología para automatizar procesos de toma de decisiones.

Mejora en la Comunicación y Colaboración:
El Proceso de Jerarquía Analítica AHP mejora la comunicación y el trabajo en equipo al integrar a múltiples partes interesadas en el proceso de evaluación y selección de alternativas. Es así como AHP logra estos objetivos.

Estructura de decisión clara y transparente: AHP ofrece un enfoque bien definido y organizado en la toma de decisiones DQR, lo que ayuda a todos los participantes a apreciar cómo se evalúan las diferentes opciones. Esto mejora la comprensión entre las partes interesadas y garantiza que todas ellas conozcan los criterios y las ponderaciones aplicadas.

Participación de diversas partes interesadas, ya que AHP acepta la necesidad de incluir a varias partes interesadas al exigirles que realicen comparaciones por pares y las clasifiquen. Esto no solo mejora la calidad de la decisión final, sino que también aumenta el sentimiento de propiedad, compromiso y lealtad entre los participantes.

Contribución del consenso: La conversación intencionada y la negociación necesarias para llegar a un acuerdo sobre los pesos y las prioridades mejoran idealmente la colaboración de las partes interesadas. Las partes interesadas tienen que hablar entre sí para respetar las prioridades y preocupaciones de otras personas, lo que ayuda a la coordinación y la integración.

Determinación de Metas y Prioridades: Tratar estas partes a su vez también sirve a AHP en el sentido de que permite mejorar los objetivos y prioridades del proyecto. Hace que sea más fácil para las partes interesadas discutir los problemas, ya que todos saben qué aspecto es más importante y también la razón detrás de él.

Reporte y Trazabilidad: El AHP involucra varios medios para obtener y preservar evidencia de manera ordenada y recuperable a lo largo del proceso de toma de decisiones. Colocar toda la evidencia sin llenar los vacíos en el razonamiento permitirá a las partes interesadas ver las decisiones, pero no hacer nada para eliminar la posible culpa o malentendido.

Valor a Largo Plazo: Al enfocarse en la optimización de las funciones clave del proyecto, el marco de Ingeniería de Valor contribuye a maximizar el valor total del proyecto, asegurando que los beneficios perduren a lo largo del ciclo de vida de este.

BIBLIOGRAFIA

Abdulfattah, B. S., Abdelsalam, H. A., Abdelsalam, M., Bolpagni, M., Thurairajah, N., Perez, L. F., & Butt, T. E. (2023). Predicting implications of design changes in BIM-based construction projects through machine learning. Automation in Construction, 155, 105057. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105057

AIA. (2007). Integrated project delivery: A new approach to construction project delivery. American Institute of Architects.

Akaa, O. U., Abu, A., & Spearpoint, M. (2020). A case study of design decision-making for an exemplar steel portal-framed building under fire exposure using a hybrid analysis technique. Journal of Building Engineering, 28, 101093. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101093

Alexander, W., Zurita, P., & García Martínez, G. (2018). AHORRO Y CRÉDITO MANABITAS IX Coloquio Ibérico Internacional de Cooperativismo y Economía Social Economía Social y globalización: nuevos desafíos, nuevas oportunidades.

Alirezaei, S., Taghaddos, H., Ghorab, K., Tak, A. N., & Alirezaei, S. (2022). BIM-augmented reality integrated approach to risk management. Automation in Construction, 141, 104458. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104458

Altan, E., & Işık, Z. (2023). "Digital twins in lean construction: a neutrosophic AHP – BOCR analysis approach." Engineering, Construction and Architectural Management. Emerald Publishing Limited.

Andreolli, F., Bragolusi, P., D'Alpaos, C., Faleschini, F., & Zanini, M. A. (2022a). An AHP model for multiple-criteria prioritization of seismic retrofit solutions in gravity-designed industrial buildings. Journal of Building Engineering, 45, 103493. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103493

Andreolli, F., Bragolusi, P., D'Alpaos, C., Faleschini, F., & Zanini, M. A. (2022b). An AHP model for multiple-criteria prioritization of seismic retrofit solutions in gravity-designed industrial buildings. Journal of Building Engineering, 45, 103493. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103493

Attia, Khan. (2024). Effective decision making using data analytics. Indian Scientific Journal Of Research In Engineering And Management, doi: 10.55041/ijsrem32598

Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D., & Ahmad, I. (2011). "Building Information Modeling for Sustainable Design and LEED® Rating Analysis." Automation in Construction.

Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2008). BIM in the construction industry: A review of the current status. Automation in Construction, 18(2), 73-79.

Ballard, G., & Howell, G. (2003). Lean construction: From theory to practice. Journal of Construction Engineering and Management, 129(1), 3-10.

Ballesteros-Pérez, P., Cerezo-Narváez, A., Otero-Mateo, M., Pastor-Fernández, A., & Vanhoucke, M. (2019). Performance comparison of activity sensitivity metrics in schedule risk analysis. Automation in Construction, 106, 102906. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102906

Berumen, S. A. (2007). La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. Cuadernos de Administración, 20(34), 65-87.

Blais, C., St-Pierre, J., & Bergeron, H. (2023). Performance measurement in new product development projects: findings from successful small and medium enterprises. International Journal of Project Management, 41(2), 102451. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2023.102451

Bonilla, E. C., Ortega, K., Investigadores, B., Bonilla, G., Nikolás, B., Vargas Diseño, B., & Delgado, V. E. S. (2018). Informe de Productividad en la Construcción en Colombia - Camacol 2018.

Brans, J. P., & Vincke, P. (1985). "A Preference Ranking Organisation Method: The PROMETHEE Method for MCDM." Management Science.

Bruno, G. (s.f.). Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Camp, R. C. (1989). Benchmarking: The search for industry best practices that lead to superior performance. Quality Press.

Celik, E., & Gul, M. (2021). Hazard identification, risk assessment and control for dam construction safety using an integrated BWM and MARCOS approach under interval type-2 fuzzy sets environment. Automation in Construction, 127, 103699. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103699

Conde, M., Rodríguez-Sedano, F. J., Fernández-Llamas, C., Gonçalves, J., Lima, J., & García-Peñalvo, F. J. (2021). Fostering STEAM through challenge-based learning, robotics, and physical devices: A systematic mapping literature review. Computer Applications in Engineering Education, 29(1), 46–65. https://doi.org/10.1002/cae.22354

Cooke-Davies, T. (2011). Aspects of complexity: Managing Projects in a complex world (First). Project Management Institute.

Costa-Carrapiço, I., Raslan, R., & González, J. N. (2020). A systematic review of genetic algorithm-based multi-objective optimisation for building retrofitting strategies towards energy efficiency. Energy and Buildings, 210, 109690. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109690

Cruz, C. O., Gaspar, P., & de Brito, J. (2019). On the concept of sustainable sustainability: An application to the Portuguese construction sector. Journal of Building Engineering, 25, 100836. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100836

Daniel, C., Daniel, P. A., & Smyth, H. (2022). The role of mindfulness in the management of projects: Potential opportunities in research and practice. International Journal of Project Management, 40(7), 849–864. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.07.003

Dell'Isola, A. J. (1997). "Value Engineering: Practical Applications for Design, Construction, Maintenance & Operations." R. S. Means Company

Dell'Isola, A. J. (1997). Value Engineering: Practical Applications for Design, Construction, Maintenance & Operations. R.S. Means Company.

Domínguez & Cano. (2018). CRITERIOS DE SELECCIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS POST-DESASTRES YURANY ANDREA DOMÍNGUEZ MORALES Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniera Civil.

Eulália, Santos., Margarida, Oliveira. (2023). (1) Data analysis on Decision-Making. doi: 10.1016/b978-0-443-13701-3.00018-9

Fang, Z., Liu, Y., Lu, Q., Pitt, M., Hanna, S., & Tian, Z. (2022). BIM-integrated portfolio-based strategic asset data quality management. Automation in Construction, 134, 104070. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104070

Farashah, A. D., Thomas, J., & Blomquist, T. (2019). Exploring the value of project management certification in selection and recruiting. International Journal of Project Management, 37(1), 14–26. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.09.005

García Serna, O. L. (2003). Valoración de empresas, gerencia del valor y EVA. Medellín: Digital Express. ISBN 9583344168.

García-Peñalvo, F. J. (2022). Developing robust state-of-the-art reports: Systematic Literature Reviews. En Education in the Knowledge Society (Vol. 23, p. E28600). Ediciones Universidad de Salamanca. https://doi.org/10.14201/eks.28600

Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. Health Information and Libraries Journal, 26(2), 91-108. https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x

Hanafy, N. O. (2023). Artificial intelligence's effects on design process creativity: "A study on used A.I. Text-to-Image in architecture". Journal of Building Engineering, 80, 107999. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107999

Hillson, D. (2003). Risk management in construction projects: A review of the literature. International Journal of Project Management, 21(2), 97-107.

Hou, H. (Cynthia), Wang, Y., & Lan, H. (2023). Student residential apartment performance evaluation using integrated AHP-FCE method. Journal of Building Engineering, 67, 106000. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106000

Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications." Springer-Verlag.

Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications." Springer-Verlag.

I., Pottachola. (2020). A strategic framework for enhancing technology adoption in project-based AECO firms.

Ighravwe, D. E., & Oke, S. A. (2019). A multi-criteria decision-making framework for selecting a suitable maintenance strategy for public buildings using sustainability criteria. Journal of Building Engineering, 24, 100753. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100753

Jaafaru, H., & Agbelie, B. (2022). Bridge Maintenance Planning Framework Using Machine Learning, Multi-Criteria Decision Analysis and Evolutionary Optimization Models. Automation in Construction, 143, 104585. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104585

Jin, Z., Kang, S., Lee, Y., & Jung, Y. (2023). Standard terms as analytical variables for collective data sharing in construction management. Automation in Construction, 148, 104752. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104752

Katebi, A., Homami, P., & Najmeddin, M. (2022). Acceptance model of precast concrete components in building construction based on Technology Acceptance Model (TAM) and Technology, Organization, and Environment (TOE) framework. Journal of Building Engineering, 45, 103518. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103518

Kelley, J. C., & Helper, J. L. (1992). Value engineering and its applications in construction projects. Construction Management and Economics, 10(4), 335-343.

Khoshnava, S. M., Rostami, R., Zin, R. M., Mishra, A. R., Rani, P., Mardani, A., & Alrasheedi, M. (2020). Assessing the impact of construction industry stakeholders on workers' unsafe behaviours using extended decision-making approach. Automation in Construction, 118, 103162. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103162

Koc, K., Ekmekcioğlu, Ö., & Gurgun, A. P. (2022). Accident prediction in construction using hybrid wavelet-machine learning. Automation in Construction, 133, 103987. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103987

Ma, Z., Ren, Y., Xiang, X., & Turk, Z. (2020). Data-driven decision-making for equipment maintenance. Automation in Construction, 112, 103103. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103103

Martínez, G., Moreno, B., & Rubio, M. C. (2012). Gestión del riesgo en proyectos de ingeniería. El caso del campus universitario PTS. Universidad de Granada (España). Dyna, 79(173), 7-14.

Marzouk, M., & Enaba, M. (2019). Text analytics to analyze and monitor construction project contract and correspondence. Automation in Construction, 98, 265–274. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.018

McKinsey Global Institute. (2017). UNA RUTA HACIA MÁS ALTO REINVENTANDO LA CONSTRUCCIÓN: PRODUCTIVIDAD RESUMEN EJECUTIVO. www.mckinsey.com/mgi.

Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Supply chain management: A review. Journal of Business Logistics, 22(2), 1-25.

Meshref, A. N., Elkasaby, El. A. F. A., & Abdel Kader Mohamed Farid, A. (2023). Reducing construction waste in the construction life cycle of industrial projects during design phase by using system dynamics. Journal of Building Engineering, 69, 106302. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106302

Mitchell, M. (1998). "An Introduction to Genetic Algorithms." MIT Press.

Moghtadernejad, S., Mirza, M. S., & Chouinard, L. E. (2019). Determination of the fuzzy measures for multicriteria and optimal design of a building façade using Choquet integrals. Journal of Building Engineering, 26, 100877. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100877

Moretti, N., Ellul, C., Re Cecconi, F., Papapesios, N., & Dejaco, M. C. (2021). GeoBIM for built environment condition assessment supporting asset management decision

making. Automation in Construction, 130, 103859. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103859

Nadkarni, R. R., & Puthuvayi, B. (2020). A comprehensive literature review of Multi-Criteria Decision Making methods in heritage buildings. Journal of Building Engineering, 32, 101814. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101814

Nantes, E. A. (2019). El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones multicriterio. Universidad Nacional de Córdoba.

Narea Chumbi, P. F., & Guamán Tenezaca, G. A. (2021). Aplicación de indicadores financieros e inductores de valor como herramienta de optimización en las decisiones estratégicas empresariales. Revista Economía y Política, (34), 95-111. Universidad de Cuenca.

Narea Chumbi, Patricia F., & Guamán Tenezaca, Guillermo A.. (2021). Aplicación de Indicadores Financieros e Inductores de Valor como Herramienta de Optimización en las Decisiones Estratégicas Empresariales. Revista Economía y Política, (34), 94-111. Epub 05 de de 2021. Recuperado en 22 de septiembre de 2024, de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2477-90752021000100094&lng=es&tlng=es.

Ngo, K. A., Lucko, G., & Ballesteros-Pérez, P. (2022). Continuous earned value management with singularity functions for comprehensive project performance tracking and forecasting. Automation in Construction, 143, 104583. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104583

Nguyen, P. H. D., & Robinson Fayek, A. (2022). Applications of fuzzy hybrid techniques in construction engineering and management research. Automation in Construction, 134, 104064. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104064

Nikulina, A., Volker, L., & Bosch-Rekveldt, M. (2022). The interplay of formal integrative mechanisms and relational norms in project collaboration. International Journal of Project Management, 40(7), 798–812. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.08.006

Olanrewaju, A., Bong, M. Z. X., & Preece, C. (2022). Establishment of pre-qualification criteria for the selection of subcontractors by the prime constructors for building projects. Journal of Building Engineering, 45, 103644. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103644

Osorio Gómez, J. C. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. Scientia et Technica, 14(39), 247-252.

Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). "The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance." McGraw-Hill.

Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). The six sigma way: How GE, Motorola, and other top companies are honing their performance. McGraw-Hill Education.

Pinto, Ó. O. G. (2018). Propuesta de un diseño metodológico para la implementación de la gestión de riesgos estratégicos. Cuadernos de Contabilidad, 19(47), 1-17.

Piroozfar, P., Farr, E. R. P., Zadeh, A. H. M., Timoteo Inacio, S., Kilgallon, S., & Jin, R. (2019). Facilitating Building Information Modelling (BIM) using Integrated Project Delivery (IPD): A UK perspective. Journal of Building Engineering, 26, 100907. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100907

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, . (2018). Guide to the project management body of knowledge. PROJECT MANAGEMENT INST.

Project Management Institute. (2024). Risk management in portfolios, programs, and projects: A practice guide. Project Management Institute, Inc.

Rausch, C., Nahangi, M., Haas, C., & Liang, W. (2019). Monte Carlo simulation for tolerance analysis in prefabrication and offsite construction. Automation in Construction, 103, 300–314. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.026

Risk management in portfolios, programs, and projects: a practice guide. (2024). Project Management Institute.

Ron, Eyerman. (2022). Innovation for the Digitization Process of the AECO Sector. The urban book series, doi: 10.1007/978-3-031-29515-7_3

Roy, B. (1991). "The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods." Theory and Decision, 31(1), 49-73.

Rúa Machado, C., Arboleda López, S., & Serna Machado, N. (2022). Pilotos para la transferencia de conocimiento entorno a la digitalización en la construcción en Medellín, Colombia. Revista M, 19. doi.org/10.15332/rev.m.v19i1.2833

Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2016). "Simulation and the Monte Carlo Method." Wiley.

Ruiz-Domínguez, Verónica Esperanza, Álvarez-Orozco, Dolores Guadalupe, & Durán-Alejo, Paola Michelle. (2023). Estrategias aplicadas durante la pandemia bajo el entorno VUCA en empresas de Guanajuato, México.. Ciencias administrativas teoría y praxis, 19(1), 48-66. Epub 25 de agosto de 2023.https://doi.org/10.46443/catyp.v19i1.320

Saaty, T. L. (2008). "Decision making with the analytic hierarchy process." International Journal of Services Sciences, 1(1), 83-98.

Saaty, T. L. (2014). Toma de decisiones para líderes: El proceso analítico jerárquico, la toma de decisiones en un mundo complejo. RWS Publications.

Sarvari, H., Chan, D. W. M., Alaeos, A. K. F., Olawumi, T. O., & Abdalridah Aldaud, A. A. (2021). Critical success factors for managing construction small and medium-sized enterprises in developing countries of Middle East: Evidence from Iranian construction enterprises. Journal of Building Engineering, 43, 103152. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103152

Shahpari, M., Saradj, F. M., Pishvaee, M. S., & Piri, S. (2020). Assessing the productivity of prefabricated and in-situ construction systems using hybrid multi-criteria decision making method. Journal of Building Engineering, 27, 100979. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100979

Slaton, T., Hernandez, C., & Akhavian, R. (2020). Construction activity recognition with convolutional recurrent networks. Automation in Construction, 113, 103138. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103138

Smith, N. J., Merna, T., & Jobling, P. (2006). "Managing Risk in Construction Projects." Wiley.

Sun, J., Lei, K., Cao, L., Zhong, B., Wei, Y., Li, J., & Yang, Z. (2020). Text visualization for construction document information management. Automation in Construction, 111, 103048. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103048

Tan, T., Mills, G., Papadonikolaki, E., & Liu, Z. (2021). Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): A review. Automation in Construction, 121, 103451. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103451

Taskan, B., Junça-Silva, A., & Caetano, A. (2022). Clarifying the conceptual map of VUCA: a systematic review. En International Journal of Organizational Analysis (Vol. 30, Número 7, pp. 196–217). Emerald Publishing. https://doi.org/10.1108/IJOA-02-2022-3136

Taskan, B., Junça-Silva, A., & Caetano, A. (2022). Clarifying the conceptual map of VUCA: a systematic review. In International Journal of Organizational Analysis (Vol. 30, Issue 7, pp. 196–217). Emerald Publishing. https://doi.org/10.1108/IJOA-02-2022-3136

Tiruneh, G. G., Fayek, A. R., & Sumati, V. (2020). Neuro-fuzzy systems in construction engineering and management research. Automation in Construction, 119, 103348. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103348

Toskano Hurtado, G. B. (s. f.). (s. f.). El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la.

Uzair, M., & Ali Abbas Kazmi, S. (2023). A multi-criteria decision model to support sustainable building energy management system with intelligent automation. Energy and Buildings, 301, 113687. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113687

Van Nguyen, M. (2023). Drivers of innovation towards sustainable construction: A study in a developing country. Journal of Building Engineering, 80, 107970. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107970

Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). "Theory of Games and Economic Behavior." Princeton University Press.

Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1944). "Theory of Games and Economic Behavior." Princeton University Press.

Wang, L., Cheng, Y., & Zhang, Y. (2023). Exploring the risk propagation mechanisms of supply chain for prefabricated building projects. Journal of Building Engineering, 74, 106771. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106771

WEF. (2016). Shaping the Future of Construction A Breakthrough in Mindset and Technology. En World Economic Forum (WEF) (Número May). https://www.bcgperspectives.com/Images/Shaping_the_Future_of_Construction_may_2016.pdf

Zamani, V., Taghaddos, H., & Gholipour, Y. (2023). Sensor-fused simulation-based decision support system for earthmoving projects. Automation in Construction, 156, 105117. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105117

Zhang, Z., & Pan, W. (2021). Multi-criteria decision analysis for tower crane layout planning in high-rise modular integrated construction. Automation in Construction, 127, 103709. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103709

Zhu, Z., Jeelani, I., & Gheisari, M. (2023). Physical risk assessment of drone integration in construction using 4D simulation. Automation in Construction, 156, 105099. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105099