

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

---

**“Optimización heurística multiobjetivo para la gestión de  
activos de infraestructura en la carretera puente chino-  
Aguaytía”**

---

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL**

**AUTOR: Espinoza Camayo, Diego Cristian**

**ASESOR: Chiguala Contreras, Yasser Everet**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2023**



# U

### TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis ( X )
- Trabajo de Suficiencia Profesional ( )
- Trabajo de Investigación ( )
- Trabajo Académico ( )

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Gestión en la construcción

**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)

### CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

**Área:** Ingeniería, Tecnología

**Sub área:** Ingeniería civil

**Disciplina:** Ingeniería civil

### DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio ( X )
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

### DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 47811924

### DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 18081080

Grado/Título: Maestro en ciencias económicas,

mención: proyectos de inversión

Código ORCID: 0000-0001-5877-9377

### DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Gómez Valles, Jhon Elio	Maestro en diseño y construcción de obras viales	45623860	0000-0001-6424-6032
2	Taboada Trujillo, William Paolo	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	40847625	0000-0002-4594-1491
3	Cárdenas Vega, José Antonio	Ingeniero en informática y sistemas	42878755	0000-0003-2365-566X

# D

# H



**UDH**  
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
http://www.udh.edu.pe

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
*Facultad de Ingeniería*  
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL  
FILIAL LEONCIO PRADO

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO(A) CIVIL**

En la ciudad de Tingo María, siendo las 14:00 horas del día **sábado 18 de febrero de 2023**, en el Aula 301-EDIF2 de la Filial Leoncio Prado, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

- **MG. JHON ELIO GÓMEZ VALLES** PRESIDENTE
- **MG. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO** SECRETARIO
- **MG. JOSÉ ANTONIO CÁRDENAS VEGA** VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN N° 268-2023-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA MULTIOBJETIVO PARA LA GESTIÓN DE ACTIVOS DE INFRAESTRUCTURA EN LA CARRETERA PUENTE CHINOAGUAYTÍA". presentado por el (la) Bachiller. **Diego Cristian ESPINOZA CAMAYO** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 14 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47).

Siendo las 14:50 horas del día sábado 18 de febrero de 2023, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Secretario

  
\_\_\_\_\_  
Vocal



**UDH**  
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
<http://www.udh.edu.pe>

**UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO**

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Yo, Mg. Ing. Yasser Everet Chiguala Contreras, asesor del Programa Académico de Ingeniería Civil y designado mediante documento: RESOLUCIÓN N° 089-2023-D-FI-UDH del estudiante ESPINOZA CAMAYO, Diego Cristian de la investigación titulada "OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA MULTIOBJETIVO PARA LA GESTIÓN DE ACTIVOS DE INFRAESTRUCTURA EN LA CARRETERA PUENTE CHINO-AGUAYTÍA".

Puedo constar que la misma tiene un índice de similitud del 24% verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Antiplagio Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Tingo María, 01 de marzo de 2023.

**Mg. Ing. Yasser Everet Chiguala Contreras**

**Asesor**

**COD. ORCID: 0000-0001-5877-9377**

**DNI: 18081080**

## Segundo Envio

### INFORME DE ORIGINALIDAD

24%	24%	16%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	Cristina Torres Machí. "Optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de infraestructuras de transporte terrestre.", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015 Fuente de Internet	13%
2	cicese.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad de Huanuco Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%

riunet.upv.es



Mg. Ing. Yasser Everet Chiguala Contreras  
Asesor  
COD. ORCID: 0000-0001-5877-9377  
DNI: 18081080

## **DEDICATORIA**

Dios, por la fuerza, fortaleza para seguir adelante, la inteligencia para poder solucionar mis problemas, la paciencia para entender a los demás, y la sabiduría necesaria para conseguir todo lo que me he trazado.

Y por último a mis padres, al forjarme con principios y valores para poder desarrollarme profesionalmente al dedicar todas las horas necesarias para cumplir cada uno de mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi alma mater Universidad de Huánuco al brindarme un espacio dentro de sus aulas y por permitirme ser parte de toda la fila de profesionales, a la vez a la Facultad de Ingeniería y por supuesto al Programa Académico de ingeniería civil.

También agradecer a cada uno de mis docentes que con vocación de enseñanza y el querer ser parte de mi aprendizaje no me abandonaron en ningún momento en el transcurso de estos años. Este agradecimiento también va dirigido para mi asesor el Mg. Yasser Everet Chiguala Contreras, por el soporte y confianza para poder realizar el presente trabajo de investigación.

Agradezco a la empresa, por su colaboración y ser parte de este proceso obteniendo datos y conclusiones.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
INTRODUCCIÓN .....	XI
CAPITULO I .....	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL .....	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	14
1.3. OBJETIVOS .....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
1.4.1. LEGAL .....	15
1.4.2. TEÓRICO .....	16
1.4.3. TECNOLÓGICO .....	16
1.4.4. ECONÓMICO .....	17
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
1.5.1. TEÓRICA .....	17
1.5.2. TEMPORAL .....	18
1.5.3. ESPACIAL .....	18
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
CAPITULO II .....	19
MARCO TEORICO .....	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONAL .....	19
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES .....	21



2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	23
2.2. BASES TEÓRICAS .....	23
2.2.1. OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA MULTIOBJETIVO.....	23
2.2.2. TRANSFORMACIÓN DE UN PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN RESTRINGIDO A UNO NO RESTRINGIDO A TRAVÉS DE LAS FUNCIONES DE PENALIZACIÓN.....	30
2.2.3. PROCEDIMIENTOS METAHEURÍSTICOS.....	32
2.2.4. ALTERNATIVAS DE CONSERVACIÓN PARA TRATAMIENTOS FLEXIBLES .....	37
2.2.5. GESTIÓN DE ACTIVOS .....	39
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES .....	46
2.4. HIPÓTESIS .....	47
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	47
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS .....	48
2.5. VARIABLES.....	48
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE .....	48
2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	48
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	49
CAPITULO III.....	50
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	50
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	50
3.1.1. ENFOQUE.....	50
3.1.2. ALCANCE O NIVEL .....	50
3.1.3. DISEÑO.....	50
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	51
3.2.1. POBLACIÓN.....	51
3.2.2. MUESTRA .....	51
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS ...	53
3.3.1. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS .....	53
3.3.2. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN.....	53
3.3.3. PARÁMETROS DE OPTIMIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	53
CAPITULO IV.....	63
RESULTADOS .....	63
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS .....	63

4.1.1. ANÁLISIS DE INVENTARIO DE LOS ESCENARIOS .....	63
4.1.2. RESULTADOS DE VALIDACIÓN .....	68
4.1.3. RESULTADOS DE LAS SOLUCIONES OPTIMAS MULTIOBJETIVO .....	70
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....	71
4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	71
4.2.2. HIPÓTESIS ESPECIFICA 1 .....	71
4.2.3. HIPÓTESIS ESPECIFICA 2 .....	72
4.2.4. HIPÓTESIS ESPECIFICA 3 .....	73
CAPITULO V .....	74
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	74
CONCLUSIONES .....	76
RECOMENDACIONES .....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	78
ANEXOS .....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Analogía entre la termodinámica y el proceso de optimización .....	33
Tabla 2 Definición de operacionalización de variables.....	49
Tabla 3 Zonas críticas (tramos) de estudio .....	52
Tabla 4 Tratamientos de conservación del estudio .....	55
Tabla 5 Costo de los tratamientos en los pavimentos asfálticos o flexibles .	56
Tabla 6 Emisiones de CO2 de los tratamientos en pavimentos asfálticos....	57
Tabla 7 Tasa de descuento social a largo plazo .....	58
Tabla 8 Factorial para la calibración del recocido simulado (SA) .....	61
Tabla 9 Inventario en escenarios de validación estructurante (E) .....	64
Tabla 10 Inventario en escenarios de validación secundaria (S).....	66
Tabla 11 Resultados de validación estructurante (E).....	68
Tabla 12 Resultados de validación secundaria (S) .....	69
Tabla 13 Características de las soluciones optimas .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de flujo de la Heurística SA .....	34
Figura 2 Flujo para determinar la temperatura inicial.....	36
Figura 3 Contexto externo e interno de las organizaciones de infraestructura. .....	40
Figura 4 Ciclo de vida de un activo físico .....	44
Figura 5 Planificación en la gestión de activos, corto y largo plazo .....	45
Figura 6 Proceso de Optimización del Programa de Mantenimiento .....	62

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo asignar de manera sostenible y eficiente los recursos disponibles para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre a través de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo. Se tiene como metodología el enfoque cuantitativo, nivel descriptivo – longitudinal, con diseño cuasi experimental. Los resultados obtenidos fueron que la optimización heurística multiobjetivo es eficiente para encontrar soluciones optimas al problema de gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera. Se concluye que la herramienta de optimización heurística multiobjetivo permite una asignación sostenible y eficiente de los recursos disponibles para la gestión de la infraestructura, debido a que es una herramienta poderosa, viable, eficiente y eficaz para la resolución de problemas.

**Palabras clave:** Activos de Infraestructura, Gestión de Activos, Algoritmo Heurístico, Optimización Multiobjetivo, Activos físicos.

## **ABSTRACT**

The objective of this research is to allocate in a sustainable and efficient way the resources available for the management of land transport infrastructure assets through the multi-objective heuristic optimization tool. The methodology is the quantitative approach, descriptive level - longitudinal, with quasi-experimental design. The results obtained were that the multi-objective heuristic optimization is efficient to find optimal solutions to the asset management problem of highway land transport infrastructure. It is concluded that the multi-objective heuristic optimization tool allows a sustainable and efficient allocation of the resources available for infrastructure management, because it is a powerful, viable, efficient and effective tool for problem solving.

**Keywords:** Infrastructure Assets, Asset Management, Heuristic Algorithm, Multi-Objective Optimization, Physical Assets.

## INTRODUCCIÓN

Los puentes son infraestructuras imprescindibles para el desarrollo de las comunicaciones terrestres y son un reto con respecto a su mantenimiento controlado debido al crecimiento económico, la exigencia de competitividad y las presiones para que el mantenimiento se realice en un tiempo menos posible. Según Yepes (2019), la conservación de carreteras es difícil debido al problema de orden económico, como otro motivo se encuentra la crisis económica, la dificultad de aprobación presupuestaria, la falta de voluntad política, entre otros.

Como objetivo se tuvo que determinar la optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía a través de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo, y se efectuó con base las normas de la Universidad de Huánuco.

El presente trabajo de investigación permitirá un mantenimiento óptimo y costos mínimos de la carretera.

El trabajo desarrollado comprende 5 capítulos: como se detalla a continuación.

CAPITULO I Problema de Investigación, con lo que se puntualiza los objetivos principales, dando a conocer de una manera simplificada sobre el problema de investigación.

CAPITULO II Marco Teórico que se encuentra formado por los antecedentes internacionales, nacionales y locales, bases teóricas y definiciones conceptuales de las variables como de los indicadores.

CAPITULO III Metodología de la Investigación, puntualizando el enfoque, alcance, diseño, población – muestra, y el instrumento de recolección de datos.

CAPITULO IV Conteniendo los resultados y la contrastación de hipótesis.

CAPITULO V Contiene la discusión de resultados.

Y finalmente se describió las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexo.



# CAPITULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de deterioro de la infraestructura vial hace que un activo se degrade de una buena condición a una condición estructuralmente deficiente y es descrita como la disminución en la condición del activo en el tiempo (Zhang y Marsh, 2020). El deterioro de la infraestructura debido a su uso intensivo tiene una relación estrecha con el desarrollo de los países (Neeson, et al, 2020).

Según Bull (2003) citado por Macea, et al, (2016), indica que si un gobierno permite el deterioro de su infraestructura vial esto generara sobrecostos en la operación vehicular con un rango aproximado de 3 a 1% del Producto Interno Bruto (PBI) a nivel nacional. Además, la funcionalidad que debe proporcionar la red vial de un país es fundamental para la comodidad y seguridad de los ciudadanos (Macea, et al, 2016).

Es por ello que, en la actualidad, algunos países buscan preservar la infraestructura vial, para lograr la sostenibilidad y la eficiencia en la prestación de servicios, para lograr estos resultados, se debe tener en cuenta una variedad de instituciones técnicas y administrativas (Amendola, et al., 2017).

La disciplina de gestión de activos de infraestructura vial, implica un proceso que combina conocimientos técnicos, económicos y de procesos de negocio para lograr la asignación óptima de recursos, operación y mantenimiento (Macea, et al., 2016).

La gestión de conservación se logra a través de la planificación del mantenimiento del sistema de infraestructura vial que consiste en determinar qué activos se debe reparar, cuándo y cómo se debe realizar el mantenimiento, y qué tratamiento se debe utilizar dentro del presupuesto y otras limitaciones de recursos (Dhatrak, et al., 2020), esta planificación implica

seleccionar las alternativas adecuadas de conservación que cumplan con los criterios técnicos económicos y también ambientales.

En el Perú, específicamente en la vía Nacional PE-5N en la carretera Puente chino – Aguaytía, ubicada en la provincia y distrito de Padre Abad, región Ucayali; se identificaron 27 zonas críticas causado por la caída de rocas y erosiones, además estas carreteras influyen en el desarrollo económico de las zonas a su alrededor como el comercio de plátano y madera (Aranda y Gamarra, 2019). Esto nos indica que estas carreteras requieren ser tratadas con tratamientos de preservación, rehabilitación y mantenimiento; es por ello que es importante establecer un programa de conservación de esta vía.

El proceso de optimización de distribuir recursos para la gestión de conservación de infraestructura en la vía interurbana Puente Chino-Aguaytía, se encuentra holísticamente su enfoque existiendo varias alternativas (tratamientos de conservación), por lo que apropiado emplear un método de optimización multiobjetivo.

Es por ello que este estudio se propone aplicar una herramienta de optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de infraestructura.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía a través de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuáles son los parámetros de la optimización de asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía?

- ¿De qué manera se desarrollan los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental de la optimización de asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía?
- ¿De qué manera se ejecuta el proceso de optimización de asignación de recursos a través de la herramienta heurística multiobjetivo?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía a través de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los parámetros de la optimización de asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía.
- Identificar el desarrollo de los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental de la optimización de asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía.
- Identificar la ejecución del proceso de optimización de asignación de recursos a través de herramienta de optimización heurística multiobjetivo

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1. LEGAL**

Este estudio se enmarca dentro D.S. N° 034-2008-MTC, promulgado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC,

que establece el reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial. Dentro de los aspectos de mantenimiento de caminos, carreteras y vías urbanas. El presente trabajo apoyará al gobierno y al Ministerio de Transportes y Comunicaciones con resultados que servirá para tomar decisiones en el mantenimiento de carreteras en zonas urbanas.

#### **1.4.2. TEÓRICO**

La investigación se justifica teóricamente puesto que dará a conocer las teorías de la optimización heurística multiobjetivo y la gestión de activos, que han demostrado ser eficientes para resolver problemas complejos, ya sea por q son problemas en donde pueden existir infinidad de condiciones por lo q hallar una solución óptima se hace más complejo, los programas de conservación de mantenimiento pueden expresarse como un problema de difícil solución, por lo que aplicar modelos heurísticos estaría plenamente justificado utilizado como herramienta para tomar una decisión óptima para los casos de infraestructura como la carretera Puente Chino-Aguaytía.

#### **1.4.3. TECNOLÓGICO**

Se justica tecnológicamente porque garantiza el mantenimiento y la rehabilitación óptimos de los activos viales durante su ciclo de vida en el sector de transporte y los municipios que cuentan con una gestión de activos apropiados

Según Neupane y Gharaibeh (2019), manifiestan que el uso de un software dedicado a la gestión de activos permite la garantía del mantenimiento de las agencias de transporte y los municipios por medio de la optimización multiobjetivo con los métodos heurísticos, porque el software apoya en el análisis de la condición, el inventario y los datos aplicado en las carreteras para desarrollar planes óptimos de mantenimiento y rehabilitación plurianuales para la infraestructura vial. Sin embargo, estos procesos son costosos computacionalmente, asimismo los algoritmos heurísticos son útiles para simplificar los procesos computacionales.

#### **1.4.4. ECONÓMICO**

Se justifica económicamente porque permite la reducción de los sobrecostos en los procesos del mantenimiento de la carretera Puente Chino-Aguaytía por medio de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo, asimismo los proyectos de infraestructura contarán con un antecedente para planificar el presupuesto público y mejorar el rendimiento de los recursos y bienes en el caso de las carreteras. Según, Bull (2003) citado por Macea, et al, (2016), para conservar la infraestructura vial y cumplir con los criterios técnicos para su funcionamiento y reducir su deterioro esto influye significativamente en el PBI causando sobrecostos. Por tanto, esta investigación favorecerá al crecimiento del PBI para poder ejecutar otras obras.

Además, favorecerá el desarrollo económico de las zonas aledañas como es la comercialización del plátano, madera, cacao, café, entre otros productos agrícolas. De esta forma el campesino podrá transportar oportunamente sus productos evitando sobrecostos para el traslado.

### **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.5.1. TEÓRICA**

Según Valdés y Palacios (2018), indican que en la teoría de la optimización heurística multiobjetivo los problemas en el sector de transporte e infraestructura son complejos y no convexo, por ello los procedimientos heurísticos mediante un análisis multiobjetivo son los más eficientes y mejores métodos de solución, pero solo se aplican a limitados casos de prueba o redes reales de pequeño tamaño.

Por tanto, aplicar la teoría de la optimización heurística multiobjetivo en el estudio es viable pero limitado a los puntos o nodos de la carretera Puente Chino-Aguaytía.

Con respecto a la teoría de la gestión de activos en la ISO 55000:2014 se basa en Normas ISO 55001, ISO 55002 y está Norma Internacional, cuyo término es el “sistema de gestión de activos” brinda

las directrices a seguir gestión del mantenimiento durante la vida útil del activo, según Stegmaier, et al., (2018), indican que el estándar PAS 55 de esta norma es aplicable a cualquier sector industrial independiente del tipo de activo, sin embargo, está limitado a usarse solo a activos físicos. Asimismo, existe la limitación de conocer y desarrollar explícitamente las directrices, es decir, como hacerlo.

Por tanto, aplicar la teoría de la gestión de activos solo se realizó en los activos físicos del sector de infraestructura, para el caso del mantenimiento de la carretera Puente Chino-Aguaytía, con el fin de optimizar los recursos con una gestión adecuada cumpliendo con las directrices establecidas en la ISO 55000.

### **1.5.2. TEMPORAL**

En nuestro estudio se pretende establecer un programa con un periodo de análisis de 25 años, sin embargo, los datos que se recolectarán para hacer esta estimación serán datos actuales (2021); por consiguiente, aunque la proyección es para años subsiguientes el tiempo donde se desarrolla el estudio es en el periodo 2021.

### **1.5.3. ESPACIAL**

El espacio geográfico a la cual se le realizara un programa de conservación de gestión de activos de infraestructura pertenece a la vía interurbana (Puente Chino-Aguaytía), que pertenece a la red vial Nacional PE-5N, la cual está ubicada en el distrito y provincia del Padre Abad, región Ucayali.

## **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se desarrolló debido a la disponibilidad de los recursos humanos, financieros y materiales necesarios para su implementación y, en general, la disponibilidad de información primaria y secundaria.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONAL**

Santes (2021), en su investigación “Desarrollo de una herramienta para la gestión eficiente del mantenimiento de pavimentos urbanos mediante optimización multiobjetivo. Aplicación al distrito Quatre Carreres de la ciudad de Valencia”, tuvo como objetivo desarrollar una herramienta que permita realizar un mantenimiento óptimo y eficiente del pavimento urbano. Su metodología fue aplicada, explicativa, cuantitativo, cuasi experimental, incorporo la optimización multiobjetivo y el algoritmo heurístico. Como resultados obtuvo calibración de una herramienta de optimización multicriterio para la planificación y gestión del mantenimiento de pavimentos urbanos. El autor concluyo que el modelo se puede aplicar a toda una ciudad de manera eficaz y eficiente.

Huang, et al, (2021) en su investigación “Optimización multiobjetivo del mantenimiento del pavimento basada en LCA y LCCA” tuvo como objetivo proponer una metodología integrada que unifique la evaluación del ciclo de vida (LCA, la evaluación del costo del ciclo de vida (LCCA) y la optimización multiobjetivo para establecer un sistema de toma de decisiones de mantenimiento, considerando el desempeño, tanto económico como ambiental. Su metodología incorporo la ISO 14040:2006, incluye cuatro pasos: Definición del objetivo y el alcance; Análisis del inventario del ciclo de vida (LCI); Evaluación del impacto del ciclo de vida (LCIA); y Interpretación. Como resultados obtuvo que el costo de usuario fue alrededor de 80%, el costo de la agencia supero de 3 a 5 veces, el costo del daño ambiental no supero 2.5% lo que indica no ser significativo debido a las altas incertidumbres de los MDC. Los autores concluyeron que, en la gestión de pavimentos integrados con el

LCA, LCCA y la optimización multiobjetivo contribuye en la etapa de mantenimiento que involucra material, construcción y uso.

Shi, et al., (2021) en su estudio denominado “Joint optimization of budget allocation and maintenance planning of multi-facility transportation infrastructure systems” tuvo como objetivo establecer una asignación presupuestaria integrada y un problema de optimización del mantenimiento preventivo para los sistemas de infraestructura de transporte en deterioro de múltiples instalaciones. Su metodología incorpora la descomposición de los problemas de gran escala en múltiples modelos de proceso de decisión de Markov. Como resultados obtuvieron que los algoritmos propuestos son eficientes y efectivos para encontrar decisiones de mantenimiento satisfactorias para sistemas de múltiples instalaciones. Los autores concluyeron se puede obtener decisiones de mantenimiento óptimas para problemas de pequeña escala utilizando solucionadores de última generación.

Yepes, et al., (2020), en su investigación “Diseño y mantenimiento óptimo robusto y basado en fiabilidad de puentes de alta eficiencia social y medioambiental bajo presupuestos restrictivos”, tuvo como objetivo desarrollar una metodología que incorpore la variabilidad en la toma de decisiones durante el ciclo completo de vida. Su metodología fue longitudinal e incorpora una combinación de técnicas y disciplinas como el análisis estructural, la optimización heurística multiobjetivo, la toma de decisiones multicriterio, entre otros. Como resultado, obtuvieron una combinación de la variabilidad de los parámetros y las restricciones de un problema de optimización multiobjetivo basado en criterios de sostenibilidad social y ambiental. Los autores concluyen que el diseño es sólido y confiable para las soluciones, lo cual es de importancia futura para el diseño, la construcción y el mantenimiento de infraestructuras exigentes en términos de presupuesto.

Martí, et al., (2017), en su investigación “Análisis de sensibilidad de costes en el diseño de puentes”, tuvo como objetivo optimizar una estructura utilizada como paso superior de carreteras y analizar su



sensibilidad a la variación de los precios de las materias que lo constituyen. Su metodología incorporo la aplicación de la heurística. Como resultado obtuvieron que a medida que aumenta el precio del acero, disminuye su cantidad y aumenta la cantidad de concreto, además, el costo es más sensible a las fluctuaciones del precio del acero que del concreto. Los autores concluyen que el modelo se adapta a la variación de precisión para optimizar el coste de la estructura.

Hamdi, et al, (2017) en su investigación “Pavement maintenance optimization strategies for national road network in indonesia applying genetic algorithm” tuvo como objetivo desarrollar el sistema de gestión de activos viales que cumpla con las condiciones y especificaciones de la carretera nacional en Indonesia mediante la simulación del mantenimiento vial a través de la función de optimización multiobjetivo. Su metodología consistió en aplicar el algoritmo genético, modelos de costos y el indicador de desempeño. Como resultados obtuvieron el mantenimiento de 5 años de la carretera en un tratamiento del manejo de las grietas selladas durante el primer y cuarto año, en el segundo año no se hace nada el tercer año, y en el quinto año se realiza el mantenimiento, con costos de Rp. 22,16 mil millones, sin embargo, si se tiene Rp. 20, 689 mil millones no se hará nada en el primer y cuarto año, parchando en el segundo y quinto año y el sellado de grietas en el tercer año, asimismo el modelo multiobjetivo con optimización en Pareto en la generación 10, 20,30,40,50,60 y 70 obtuvo buenas opciones de optimización. Los autores concluyeron que el modelo de optimización es apropiado para aplicar la optimización del sistema de gestión de activos viales.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Sedano y Sedano (2020), en su investigación “Optimización metaheurística en el diseño de pavimentos rígidos”, tuvo como objetivo determinar el desempeño de metaheurística en la optimización de diseño de pavimento rígido. Su metodología fue aplicada, explicativa, cuantitativo, cuasi experimental. Como resultados obtuvo que la

estructura de pavimento duro optimizada con espesor de losa de 18 cm y sustrato granular de 15 cm, reducción del 16,67% en el costo total por metro lineal en comparación con el método tradicional de MTC. Los autores concluyen que las técnicas metaheurísticas son beneficiosas e influyen significativamente en la optimización del diseño de pavimentos duros.

Chuquilin, et al., (2019), en su investigación “Propuesta de un plan de gestión de mantenimiento, para aumentar el valor de los activos de maquinaria pesada que se utiliza en proyectos de infraestructura vial, dentro de los lineamientos de la norma ISO 55001:2014; caso de estudio: Empresa Constructora CHC Ingenieros S.A.”, tuvo como objetivo Demostrar que la propuesta de un plan de gestión de mantenimiento sirve para aumentar el valor de los activos de maquinaria pesada que se utiliza en proyectos de infraestructura vial, dentro de los lineamientos de la Norma ISO 55001:2014. Su metodología cumple con los requisitos de la ISO 55001:2014 e UNE - EN 16646:2015. Como resultados obtuvo que en el análisis financiero de la propuesta demostraron un VAN de \$74,400.40, TIR de 64.03%, Payback de 1,3 años, con 729 escenarios posibles afectados en un 10%. Los autores concluyeron que a nivel técnico y financiero la propuesta es rentable para la organización, permitiendo al portafolio de activos analizados entregar valor.

Rojas (2018), en su investigación “Gestión de mantenimiento vial y su influencia en la satisfacción del usuario de la carretera Shapaja - Chazuta, 2018”, tuvo como objetivo determinar la influencia de la gestión de mantenimiento vial en la satisfacción del usuario en la carretera Shapaja-Chazuta. Su metodología fue no experimental - correlacional, con corte transversal. Como resultados el autor obtuvo que el mantenimiento rutinario tuvo un nivel medio con 83.6%, el mantenimiento periódico fue de nivel medio con 68.7%. El autor concluye que existe insuficiencia en la gestión de mantenimiento de la vía.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Barrientos (2017), en su investigación “Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF”, tuvo como objetivo mejorar las gestiones de mantenimiento de la maquinaria pesada aplicando la metodología AMEF con las nuevas tareas de mantenimiento en el plan de construcción de Puente Chino. Su metodología fue aplicada, correlacional, cuantitativo, cuasi experimental. Como resultados obtuvo una mejora en el tiempo de producción, la ratio de costo de mantenimiento preventivo fue mayor y los costos de mantenimiento correctivo se redujo, la disponibilidad operativa tuvo un crecimiento de 8% logrando un meta operativo mayor del 90%. El autor concluyo que la gestión de mantenimiento basado en la metodología AMEF para excavadoras permite una mejora en la disponibilidad operativa de las excavadoras e incremento de la rentabilidad.

Herrera (2017), en su investigación “Estudio ergonómico de las posturas forzadas y su relación con el nivel de educación de los trabajadores en la obra carretera Puente Chino - Aguaytía 2017”, tuvo como objetivo Evaluar la relación del Nivel Educativo de los Trabajadores con su exposición a posturas forzadas durante la ejecución de sus actividades en la obra carretera Puente Chino – Aguaytía 2017. Su metodología fue no experimental, correlacional, descriptivo, con corte transeccional, cuantitativo. Como resultados obtuvo que el 50% de empleados tuvo educación media básica, los trabajadores con educación primaria encontraron un mayor nivel de exposición a posturas forzadas al realizar sus actividades. El autor concluye que el nivel educativo de los trabajadores está relacionado con la percepción de su exposición laboral.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA MULTIOBJETIVO**

Según Pareto citado por Carballo (2019), indica que una alternativa es óptima si cualquier alternativa es mejor que ella según un criterio, es peor respecto de algún otro criterio. Esto es fundamental para la

optimización multiobjetivo, Hausdorff (1868-1942) y Cantor (1845-1918) generaron esta raíz en la teoría de espacios ordenados.

Para resolver problemas lineales multiobjetivo inicio gracias a Cooper (1968) por el modelo de negociación multicriterio y por Bruno Contini y Stan Zionst que colaboraron con esta teoría (Carballo, 2019, p. 23).

Según García (2019), los problemas de optimización multiobjetivo (MOOP) se ocupan de múltiples funciones objetivo. Múltiples metas o múltiples criterios son evidentes especialmente en los problemas de toma de decisiones. Debido a la falta de solucionadores adecuados, los MOOP se diseñaron y resolvieron problemas de optimización. Asimismo, la existencia de discrepancias esenciales en los principios de trabajo de los algoritmos de optimización de un solo objetivo y de múltiples objetivos. Esto se debe a que las soluciones MOOP deben probarse utilizando técnicas de optimización multiobjetivo. En los problemas de optimización de un solo objetivo, la tarea es encontrar una solución que optimice una función de un solo objetivo. Trasladando esta idea a la optimización multiobjetivo, se podría suponer erróneamente que la tarea de la optimización multiobjetivo es encontrar la solución óptima para cada función objetivo. Ciertamente hay más en la optimización multiobjetivo que esta simple idea (García, 2019).

García (2019), indica que donde un universo  $\Omega$ , donde  $g_i(\mathbf{x}) \leq 0$  y  $h_j(\mathbf{x}) = 0$  son las limitaciones para satisfacer en la optimización ( $\mathbf{x}$ ).  $\Omega$  tiene las soluciones posibles con el fin de satisfacer la función y sus limitaciones. El problema de optimización multiobjetivo se define como la minimización (o maximización) de una función ( $\mathbf{x}$ ) sujeto a  $g_i(\mathbf{x}) \leq 0$ ,  $i = \{1, \dots, m\}$ , y  $h_j(\mathbf{x}) = 0$ ,  $j = \{1, \dots, p\}$   $\mathbf{x} \in \Omega$ . Un medio que minimice (o maximice) la función escalar ( $\mathbf{x}$ ) donde  $\mathbf{x}$  es un vector de variables de decisión dimensión  $N$ ,  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_N)$ , (p. 30).

García (2019), indica que, en términos matemáticos, un MOOP puede ser formulado como:

Minimizar/maximizar

$$f_k(\mathbf{x}), k = 1, \dots, n, \dots \dots \dots (1)$$

sujeto a:

$$g_i(\mathbf{x}) \leq 0, i = 1, \dots, m, \dots \dots \dots (2)$$

$$h_j(\mathbf{x}) = 0, j = 1, \dots, p, \dots \dots \dots (3)$$

$$\mathbf{x} \in \Omega \dots \dots \dots (4)$$

Para una solución  $\mathbf{x}$  es una variable de disposición vectorial de orden  $N$ ,  $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_N]^T$ , en algún universo  $\Omega$ . En un MOOP, hay soluciones óptimas de varios niveles de prestación para las  $n$  funciones objetivo, que satisfacen las  $m + p$  limitaciones del problema y componen el conjunto óptimo de Pareto (García, 2019).

Gran parte de los MOOP tienen limitaciones creadas por la gestión de los recursos disponibles para la ejecución o por el entorno o las circunstancias particulares de ese entorno. Una solución a un problema debe respetar cada una de estas restricciones, llamadas restricciones, que pueden expresarse desigual de forma matemática. representado,  $g_i(\mathbf{x}) \leq 0$ , o igualdades,  $h_j(\mathbf{x}) = 0$ . Es decir, se cuenta con  $p$  restricciones de igualdad y  $m$  limitaciones de desigualdad; si una solución  $\mathbf{x}$  satisface todas las  $m + p$  limitaciones, reconocida a la solución factible en  $\Omega$  definiéndose la zona factible  $S$  (García, 2019).

Según García (2019), menciona que, en la dominancia de Pareto, se comparan dos soluciones ( $u$  y  $v$ ) y determinar quién domina. Se define como:  $u = (u_1, \dots, u_n)$  y  $v = (v_1, \dots, v_n)$ , donde  $u_k = f_k(\mathbf{x}^1)$  y  $v_k = f_k(\mathbf{x}^2)$ , se dice que  $u$  domina  $v$ , expresado como  $u < v$ , si y solo si  $u$  es menor o igual a  $v$  (para un caso de minimización) pero  $u$  es estrictamente menor que  $v$  en al menos uno de sus componentes, i.e.,  $\forall k \in \{1, \dots, n\}, u_k \leq v_k$  A  $\exists k \in \{1, \dots, n\}: u_k < v_k$ . Surgiendo tres posibilidades en la comparación de dos soluciones:

- $u$  domina a  $v$  ( $u < v$ ).
- $u$  es dominado por  $v$  ( $v < u$ ).
- $u$  y  $v$  incomparables.

García (2019), indica una propiedad de dominancia: el medio  $u$  no domina a otro medio  $v$ , no implica que  $v$  domine a  $u$ . Entonces las tres propiedades de dominancia del operador son:

- Reflexividad: la dominancia es instintiva es decir si cualquier medio  $u$  no puede someterse a sí misma (García, 2019).
- Simetría: la dominancia es desigual es decir si  $u$  somete a  $v$  no implica que  $v$  someta a  $u$ . Siendo contrario es innegable, si  $u$  somete a  $v$  entonces  $v$  no somete a  $u$  (García, 2019).
- Transitividad: la dominancia es hereditario, es decir, si  $v$  somete a  $w$  y  $u$  somete a  $v$ , entonces  $u$  somete a  $w$  (García, 2019).

García (2019), indica que consiste en hallar el valor de las variables  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ , siendo mínimas o máximas juntamente con varias  $n$  funciones objetivo ( $f_n$ , determinadas en la ecuación 5) cumpliendo unas restricciones ( $g_j$  y  $h_p$  definidas en las ecuaciones 6 y 7).

Funciones objetivo:

$$\begin{array}{l} \min(o \max) f_1(x) \\ \min(o \max) f_2(x) \\ \dots\dots\dots \\ \min(o \max) f_n(x) \end{array} \left| \dots\dots\dots(5) \right.$$

Sujeto a:

$$g_j(x) \leq 0; j = 1, 2, \dots, l \dots\dots\dots(6)$$

$$h_p(x) \leq 0; p = 1, 2, \dots, l \dots\dots\dots(7)$$

Donde:  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  son variables del problema de optimización.

**a) Funciones objetivo**

De acuerdo con la revisión de la literatura sobre la teoría de la optimización multiobjetivo, una herramienta de optimización para este estudio ayuda al diseño de programas de conservación que tienen en cuenta dos objetivos simultáneos: incremento de la eficiencia a un plazo largo, la duración de las inversiones en conservación y la minimización del impacto ambiental ellos crean (García, 2019).

La efectividad de un plan para conservar puede ser evaluado a partir del área inferior de la curva comportamiento y un paso mínimo de estado (ecuación 6) (García, 2019).

$$\begin{aligned}
 \max f_1(x) &= \max \sum_{n=1}^N ABC_n && \dots\dots\dots(8) \\
 &= \max \sum_{n=1}^N \int_{t=0}^T (IC_n(t) - IC_{min,n}) dt
 \end{aligned}$$

Para,  $ABC_n$  efectividad del plan del activo  $n$ ;  $IC_n(t)$  índice de condición de periodo del activo  $n$  en el año  $t$ ;  $IC_{min,n}$  mínimo de estado requerido al activo  $n$  (García, 2019).

Cabe resaltar que esta formulación se usa en la evaluación de la efectividad del proceso para conservar (ecuación 8) considerando únicamente el indicador de circunstancia (García, 2019).

En esta formulación la minimización de las emisiones de  $CO_2$ , generado por la aplicación de las formas de conservación (ver formula 9), y aunque se podrían considerar al consumo energético, consumo de recursos, emisiones de óxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) el  $CO_2$  constituye el principal medio de gases de efecto invernadero (García, 2019).

$$\min f_2(x) = \min \sum_{n=1}^N (CO_2)_n \quad \dots\dots\dots(9)$$

## b) Restricciones

Según Calderon (2022), las limitaciones económicas y técnicas se consideran en el problema, las limitaciones económicas reflejan las limitaciones presupuestarias de la agencia de gestión de carreteras del centro de la ciudad durante el período de análisis, considerado, los costos relacionados con el mantenimiento del programa de mantenimiento, por lo tanto, no deben excederse del presupuesto utilizable cada año durante el período de estudio (ver ecuación 10) De lo contrario, las restricciones técnicas imponen unas condiciones mínimas para todos los tramos de carretera; para que estas piezas aparezcan en todos los años del periodo de análisis, la condición es superior al mínimo definido a nivel estratégico (ver ecuación 11)

$$g_1(x) = \sum_{n=1}^N \text{coste}(x_n) \frac{1}{(1+i)^t} \leq B(t); \forall t \dots\dots\dots(10)$$

$$g_2(x) = IC_n \geq IC_{\min,n}; \forall t \text{ y } \forall n \dots\dots\dots(11)$$

Para t igual a año de estudio; n es el activo bajo estudio,  $\text{coste}(x_n)$  es el coste del tratamiento x aplicado en el activo n;  $\frac{1}{(1+i)^t}$  es el factor de reajuste de costes hacia una tasa de descuento i en el año t; B(t) es el presupuesto utilizable para el tratamiento de la vía en el año t;  $IC_{\min,n}$  es la condición mínima exigida para el activo n;  $IC_n(t)$  es el índice de condición del activo n en el año t (Calderon, 2022).

## c) Variables

Determinan el programa de conservación de diferentes o importantes tramos de la vía interior de la ciudad, al determinar los métodos de tratamiento que se deben aplicar a cada inmueble, en cada año de la fase de análisis. Se analiza la vía interurbana compuesta por N tramos (en operación) durante el tiempo de análisis T años; hay una totalidad de  $m = NT$  variables, determine una solución al problema de optimización (Calderon, 2022).



#### **d) Parámetros**

Según Calderon (2022), indica que se requiere de parámetros que son definidos como los datos del problema que permanecen constantes durante toda la optimización; estos parámetros son:

- Parámetros de inventario: Consistió en una recopilación de información sobre la vía interurbana, como la segmentación, para la determinación de activos a examinar; tipo de infraestructura; el clima, el tráfico, longitud de cada activo y la jerarquía de cada activo (Calderon, 2022).
- Parámetros técnicos: Estos son los parámetros que determinan el estado inicial del activo; evaluado según el nivel estratégico e indicadores y su patrón de recesión. Asimismo, contienen una lista de posibles tratamientos para cada activo, tramo de carretera, umbrales o condiciones de contorno bajo los cuales pueden ser aplicados, y los efectos de estos tratamientos para el estado del contenido (Calderon, 2022).
- Parámetros económicos: Incluye la presentación de los costos directos de adopción de actividades de conservación (coste ( $S_n$ ), siendo  $S_n$  la opción de subsistencia  $s$  para el activo  $n$ ) (Calderon, 2022).
- Parámetros ambientales: Se trata de información sobre las emisiones de dióxido de carbono generadas durante la aplicación de tratamientos conservadores (Calderon, 2022).
- Disposiciones tomadas estratégicamente: Incluye el estado mínimo exigible de la propiedad vial interurbana, así como el presupuesto existente y el tiempo evolucionado ( $B(t)$ , el tiempo de análisis ( $T$ ) y el descuento ( $i$ ) para emplear en la valoración económica (Calderon, 2022).

## 2.2.2. TRANSFORMACIÓN DE UN PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN RESTRINGIDO A UNO NO RESTRINGIDO A TRAVÉS DE LAS FUNCIONES DE PENALIZACIÓN

Según Calderon (2022), estos problemas de optimización en los que encontrar aleatoriamente una posible solución que satisfaga las restricciones del problema sería computacionalmente costoso, podría ser de conveniencia transmutar el problema restringido por estas restricciones en un problema incondicional. Este mecanismo solo se aplica con el propósito de resolver algoritmos de optimización; convertir el problema ligado original en un problema no ligado incluiría una penalización en la función objetivo.

Los problemas de asignación de recursos para la conservación a menudo tienen restricciones económicas y técnicas que limitan severamente el espacio para posibles soluciones. En esta situación, es muy costoso encontrar aleatoriamente una posible solución al problema (MTC, 2018, p. 33)

Calderon (2022), indica que un algoritmo heurístico (metaheurístico) que parte de una solución aleatoria inicial (gradiente, umbral de tolerancia, recocido simulado) puede verse como una función de penalización que convierte un problema condicional en uno incondicional.

Por lo tanto, en las heurísticas el problema no restringido se considera la siguiente función objetivo (ver ecuación 12), esto incluye una función de penalización asociada a las restricciones técnicas ( $PF_{tec,n}$ ) y otra función de penalización asociada a las restricciones económicas ( $PF_{eco,n}$ ) del problema (Calderon, 2022).

$$\begin{aligned}
 \max f_1(x) = \max & \sum_{n=1}^N ABC_n - \sum_{n=1}^N PF_{tec,n} \\
 & - \sum_{t=0}^T PF_{eco,t} \dots\dots\dots(12)
 \end{aligned}$$

Donde:

$ABC_n$  : es la efectividad del activo n de la via interurbana

$PF_{tec,n}$  y  $PF_{eco,t}$ : funciones de penalización.

Calderón (2022), indica que las funciones de penalización (ver ecuaciones 12 y 13), Estos dan cuenta de cero penalizaciones por el cumplimiento de las restricciones (condiciones por encima de los requisitos mínimos, o costo anual por debajo del presupuesto disponible). Sin embargo, las sanciones aumentarán con el tiempo si se violan las restricciones. Ante el incremento de la infracción de la restricción la penalización acrecentara de manera lineal (p. 136).

$$PF_{tec,n} = \begin{cases} 0, & IC_n(t) \geq IC_{min,n} \\ \sum_{t=0}^T k_{1tec} + k_{2tec} \cdot IC_n(t), & IC_n(t) < IC_{min,n} \end{cases} \dots\dots\dots(13)$$

Donde:

$IC_{min,n}$  : mínima exigida para el activo n

$IC_n(t)$  : activo n en el año t

$k_{2tec}$  : factor de penalización.

$k_{1tec}$  : penalización técnica fija

$$PF_{eco,n} = \begin{cases} 0, & \sum_{n=1}^N coste(x_{nt}) \cdot \frac{1}{(1+i)^t} \leq B(t) \\ k_{1eco} + k_{2eco} \cdot \sum_{n=1}^N coste(x_{nt}) \cdot \frac{1}{(1+i)^t}; & \sum_{n=1}^N coste(x_{nt}) \cdot \frac{1}{(1+i)^t} > B(t) \end{cases} \dots\dots\dots(14)$$

Donde:

coste ( $x_{nt}$ ): coste del tratamiento del tramo n en el año t

B(t): es el presupuesto del año t

$k_{1eco}$ : sanción económica fija.

$i$ : es la tasa de descuento

$k_{2eco}$ : factor de penalización.

### 2.2.3. PROCEDIMIENTOS METAHEURÍSTICOS

#### e) Templado simulado

Simulated Annealing (SA), probándose este proceso con éxito en varios problemas de optimización, exponiendo su habilidad con el fin de que se evite quedar descubierto en óptimos locales. Porque su simplicidad de implementación, a su vez los buenos resultados que se descubren, experimentándose inicialmente en la década de los 80 (Gendre, 2019).

Según Gendre (2019), indica que al aplicar el algoritmo Metrópolis en algunos problemas de optimización combinatoria que se presentan en este tipo de diseño. El algoritmo Metrópolis simula el cambio de energía durante el enfriamiento de un sistema físico. Las leyes de la termodinámica dicen que a la temperatura  $t$ , la probabilidad de que la energía aumente en un orden de magnitud  $\partial E$  expresándose:

$$P(\partial E) = e^{\frac{-\partial E}{kt}} \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

$k$  es la constante de Boltzmann.

Esto crea una perturbación y calcula el cambio de energía resultante. Si disminuye, el sistema pasa a un nuevo estado, de lo inverso, se aceptará la nueva etapa conforme con la probabilidad entregada en la ecuación anterior (Gendre, 2019).

Gendre (2019), menciona que es posible establecer similitud sobre los parámetros que interfieren en la simulación termodinámica de Metrópolis y los que surgen en los métodos de optimización locales. (Ver Tabla)

**Tabla 1**  
*Analogía entre la termodinámica y el proceso de optimización*

<b>Termodinámica</b>	<b>Optimización</b>
Configuración	Solución posible
Configuración fundamental	Solución óptima
Energía de la configuración	Coste de la solución

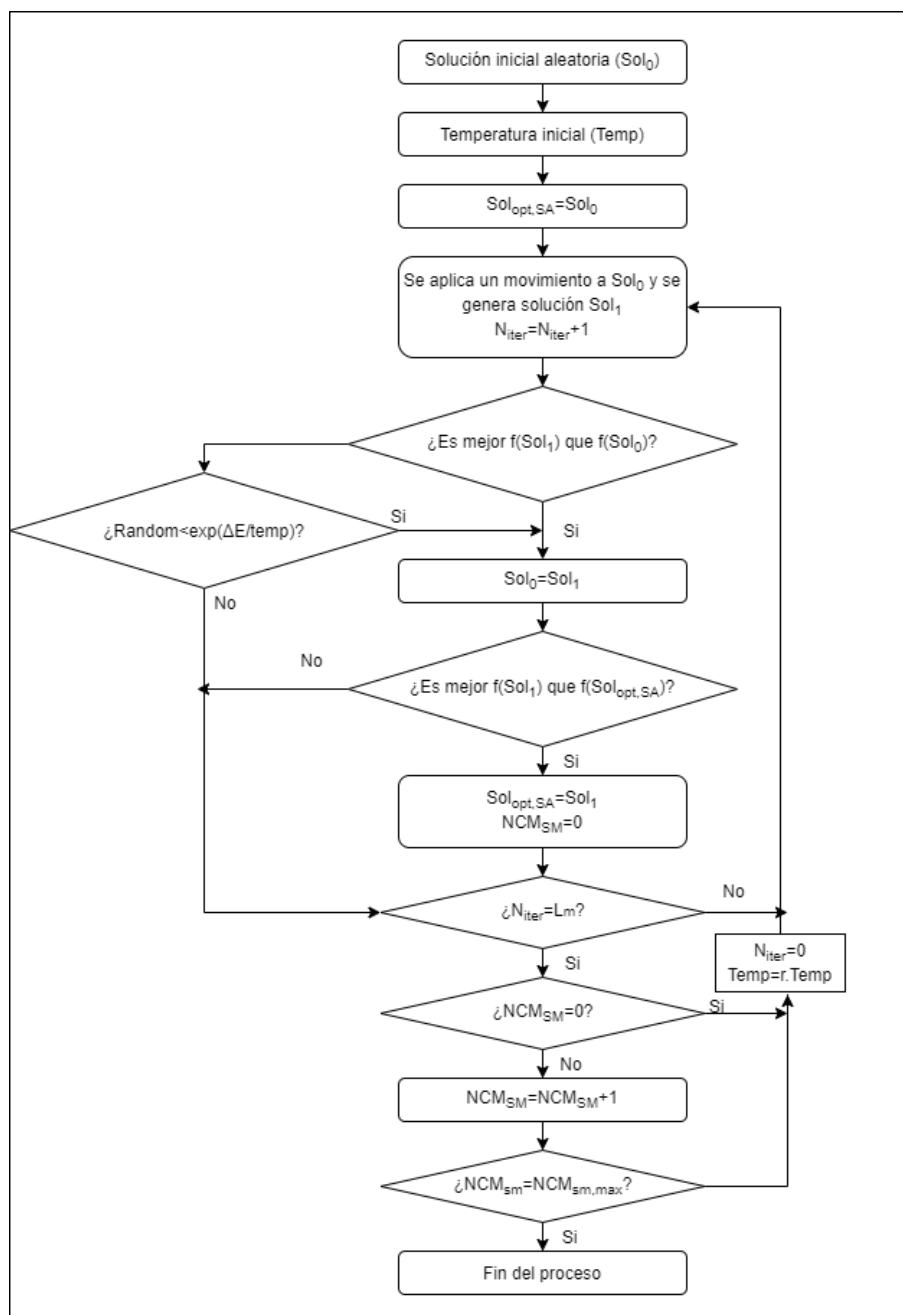
Por ello, establecen una analogía entre el proceso por el que se localizan las moléculas de materia en busca del equilibrio a diferentes niveles de energía y las soluciones buscadas por los procesos de búsqueda local (Gendre, 2019).

El SA es un procedimiento local basado en la investigación en el que se aceptan todos los movimientos de mejora y se permiten los flujos de no mejora de acuerdo con una cierta probabilidad. Estas probabilidades se basan en la analogía del enfriamiento físico y se calculan utilizando la temperatura del sistema (Gendre, 2019, p. 43-51).

Es decir, usar la estrategia de SA significa empezar con una temperatura inicial alta, proporcionando una probabilidad alta que se acepte un movimiento de no mejora (Gendre, 2019).

En cada iteración, la temperatura disminuye, por lo que la probabilidad disminuye a medida que avanza el procedimiento, acercándose a la solución óptima. De esta forma, la diversificación de la búsqueda se realiza primero, sin un control indebido sobre el costo de las soluciones visitadas. En iteraciones posteriores, el costo disminuye ya que los malos movimientos son más difíciles de aceptar (Gendre, 2019).

**Figura 1**  
*Diagrama de flujo de la Heurística SA*



El SA al aceptar movimientos que no mejoran en estados intermedios, podemos retener los óptimos locales. Al final del proceso, es muy poco probable que esto no suceda. Por lo tanto, sin movimientos de progreso, el algoritmo termina (Ver Figura 1).

Gendre (2019), indica que el algoritmo solicita un medio inicial, obtenida de manera aleatoria y una temperatura inicial (Temp) que se

determinara según el esquema en la Figura 2, esta temperatura determinara el juicio para aceptar las soluciones peores. Con esta solución, se empleará inclinaciones a los valores con el fin de obtener una nueva solución (Sol1); luego esta solución es estimada y si esta nueva solución progresa el valor de la función objetivo, se acoge como nueva solución de partida. Por otro lado, Sol1 sustituye a Sol<sub>0</sub> con una posibilidad generada por el factor de Boltzmann (ver ecuación 16)

$$p = \frac{1}{e^{\Delta/Temp}} \text{ si } \Delta > 0 \quad \dots\dots\dots(16)$$

Con

$$\Delta = |f(Sol_1) - f(Sol_0)| \quad \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

$f(Sol_1)$  y  $f(Sol_0)$ : valor de la función objetivo para los medios 1 y 0;

Temp : temperatura.

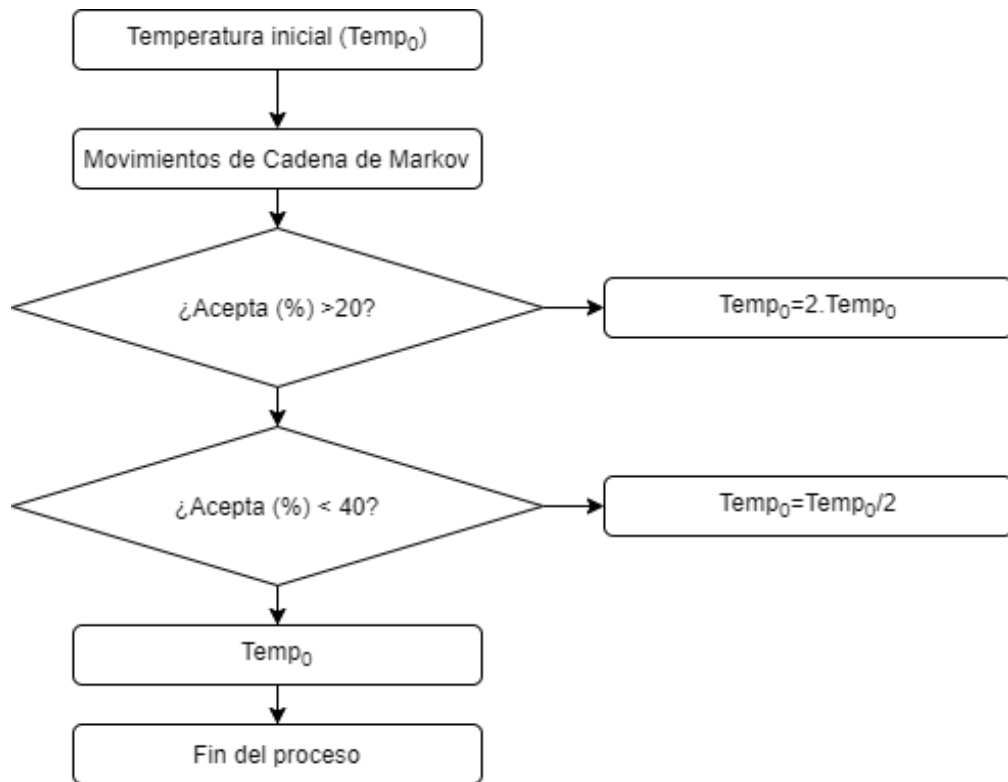
La posibilidad expresada en la ecuación 16, la comparación con un número al azar del intervalo (0,1) distribuida uniformemente la posibilidad. En caso el número al azar es inferior al valor de la posibilidad de aceptar generado de la ecuación (16), la solución nueva Sol<sub>1</sub> es admitida para la nueva solución de partida (Gendre, 2019).

Pasado un número destinado de iterar se conoce como Cadena de Markov (L<sub>m</sub>), reduciendo la temperatura (Temp). Avanzando el problema, la temperatura se reduce y la posibilidad de aceptar soluciones de baja calidad se reducen. El algoritmo es detenido al superar un determinado número de cruces (NCM<sub>sm max</sub>) sin progreso de la solución (Gendre, 2019).

Gendre (2019), indica que la calibración del SA demanda establecer lo siguiente:

- Particularidades del movimiento: El movimiento usado se puede determinar a acoger la solución óptima de la calibración de otra heurística.
- Longitud de la cadena de Markov ( $L_m$ ): Determina la cantidad de iterar donde la temperatura es constante.
- Valor de la temperatura inicial: Se usará una temperatura inicial obtenido a través del algoritmo propuesto por Gendre (2019), persiguiendo el proceso según la figura siguiente:

**Figura 2**  
Flujo para determinar la temperatura inicial



- Se seleccionará la temperatura inicial ( $Temp_0$ ) en forme predeterminada o arbitraria (Gendre, 2019).
- Se aplicará la cadena de Markov ( $L_m$ ) contabilizando el número de soluciones admitidas. Al determinar el porcentaje de aceptación, con el cálculo de la proporción de soluciones admitidas y la totalidad de



las soluciones trazadas que conjeturan una declinación de la solución inicial (ver ecuación 18) (Gendre, 2019)

$$Acepta(\%) = \frac{N^{\circ} \text{ de soluciones aceptas}}{N^{\circ} \text{ soluciones con } \Delta > 0} \dots\dots\dots(18)$$

- Si Acepta (%) > 40%, la temperatura inicial es excesivo y se repite el proceso, estableciendo otro valor de temperatura similar a la mitad de la temperatura estimada al inicio (Gendre, 2019).
- Si Acepta (%) < 20%, la temperatura inicial es muy baja y repite el proceso apadrinando otro valor de la temperatura similar al duplo de la temperatura considerada al inicio (Gendre, 2019).
- Si 20 < Acepta (%) < 20%, se acepta el valor de la temperatura inicial (Gendre, 2019).

**Coefficiente de enfriamiento (r):** Determina la rapidez de la reducción de la temperatura de optimización. Según las recomendaciones de se debe considerar una rapidez geométrica para enfriar (ver ecuación 4) (Gendre, 2019).

$$Acepta(\%) = r \cdot Temp; \text{ con } r \in [0.08, 0.99] \dots\dots\dots(4)$$

**Criterio de Parada:** Número máximo de cruces de markov sin progresos de la solución optimizada ( $NCM_{sm,max}$ ) determinan el fin de la realización del algoritmo (Gendre, 2019).

#### 2.2.4. ALTERNATIVAS DE CONSERVACIÓN PARA TRATAMIENTOS FLEXIBLES

A continuación, se describirán las formas de conservación estimados en el estudio, estos tratamientos se establecen a partir de una recopilación de información bibliográfica, ya que muchos de estos tratamientos no podrían ser potencialmente aplicables en nuestro país.

### **a) Riego de neblina o de asfalto**

Llamado el riego en negro o pulverizado (*fog seal*), este tratamiento reside en aplicar una emulsión asfáltica disuelta para fortalecer la superficie del pavimento e impedir pérdidas de agregado (MTC, 2018).

La aplicación de sellos se usa donde el pavimento muestra indicios de decadencia por ejemplo el agrietamiento en la superficie con una severidad baja, leve pérdida del cemento asfáltico por la superficie o decoloración debido al cambio de tonalidad del color gris. El regadío con asfalto diluido o emulsión se realiza con esparcidores a bajas velocidades en temperatura ambiente superior a 6°C, las condiciones climáticas son adecuadas y no llueve. El material asfáltico se coloca de forma que haya un área de 30 cm de ancho entre carriles de dos (MTC, 2018, p. 253).

### **b) Lechada asfáltica**

Las lechadas asfálticas son similares a los sellos con emulsión con el fin de reducir el desgaste de la superficie y mejorar la fricción del pavimento y neumáticos (MTC, 2018, p. 324).

En sellos con lechadas asfálticas y de tratamiento superficial, se usan emulsiones reformadas. Los áridos para las lechadas asfálticas son limpios, durables, angulares, reconocidos, obtenidos del chancado de rocas, arena natural o su mezcla (MTC, 2018, p. 325).

### **c) Sello de agregado**

También llamado riego con grava o sellado con arena, tipo de forma superficial para aplicar riego de liga continuado de un recubrimiento con agregado monograno (MTC, 2018).

### **d) Microaglomerado en frío**

El microaglomerado en frío, también acreditado como slurry o lechada bituminosa, es una técnica muy versátil en conservación de pavimentos que, aplicada adecuadamente, genera una solución

ecológica, económica, eficaz y eficiente a muchos problemas no estructurales de carreteras y viales con firmes (Uguet, et al., 2019).

#### **e) Reciclado in situ en caliente**

Consiste en reutilizar los materiales de la estructura deteriorada a través de un procedimiento en altas temperaturas en la obra, calentando con quemadores y mezclando agentes químicos para fortalecer la nueva mezcla, para extenderse compactamente de acuerdo al espesor solicitado (González, et al., 2019)

#### **f) Reciclado in situ en frío**

Alternativa de restitución alta provechoso para una gran cantidad de fallas de pavimento elástico superficial o estructural, con numerosos beneficios en los métodos tradicionales, principalmente en la reducción del impacto ambiental porque la reutilización del pavimento asfáltico (RAP, *Reclaimed Asphalt Pavement*) en su totalidad, basado granular para evitar usar materiales derivado de depósitos, con un mayor costo-efectividad por su bajo agotamiento energético (Ardaya, 2020).

#### **g) Recrecido estructural**

Este tratamiento es similar a la aplicación de un recrecido funcional, con la diferencia de que este recrecido es más grueso, aumentando la capacidad portante de la cubierta (MTC, 2018),

#### **h) Reconstrucción**

Según el MTC (2018), indica que la reconstrucción es una técnica útil para retirar el antiguo pavimento reemplazándolo por uno nuevo. Estos casos pueden mantenerse, pero la estática abandona su contribución.

### **2.2.5. GESTIÓN DE ACTIVOS**

Consiste en monitorear los objetos de valor como los activos físicos, que requieren de un balance de riesgo, costos, desempeño y

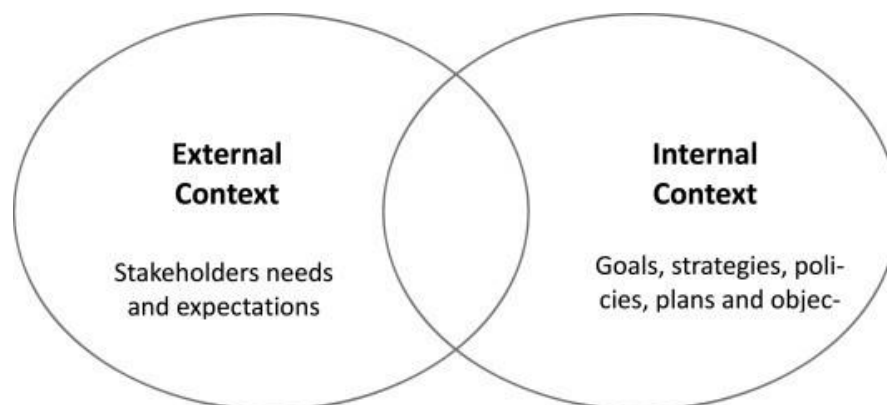
oportunidades para su aprovechamiento eficiente del valor de un activo en toda su vida útil (Naciones Unidas, 2021, p. 04)

Los activos de infraestructura se relacionan directamente al crecimiento económico de los países y la calidad de vida del pueblo. Las organizaciones de infraestructura son un tipo particular de organizaciones intensivas en activos que coordinan actividades relacionadas con activos que son costosos, extensos o complejos. Por tanto, la gestión de activos es importante y la relevancia de su uso ha sido reconocida en organizaciones intensivas en activos de diferentes tipos, a saber, las empresas de servicios públicos (Almeida, et al, 2022).

El punto de partida es la comprensión del contexto externo e interno de la organización intensiva en activos que se ocupa de los activos de infraestructura (Ver Figura 4) (Almeida, et al, 2022).

La gestión de activos contribuye a la alineación de estos objetivos estratégicos organizacionales con las actividades de gestión de activos y su toma de decisiones. El valor derivado de la base de activos de infraestructura es el logro de objetivos dentro de la organización (valor creado para la institución) y poder satisfacer las necesidades y perspectivas de los interesados relevantes (valor percibido por las partes interesadas) (Almeida, et al, 2022).

**Figura 3**  
*Contexto externo e interno de las organizaciones de infraestructura.*



La gestión del rendimiento de los activos físicos depende de que la integridad del activo se sostenga durante la utilidad de la inversión, a fin de funcionar a la capacidad de diseño sin una pérdida importante de contención primaria (Bruce, 2017).

La adopción del conjunto de normas ISO 55000 consienten a una empresa a conseguir sus objetivos por medio de la gestión eficiente y eficaz de los activos. el rendimiento de los activos físicos está dictado por la salud del equipo. Si se inspecciona y mantiene adecuadamente, por parte de personal competente, utilizando las últimas herramientas disponibles, es probable que se logre un alto nivel de rendimiento durante la vida útil del activo (Bruce, 2017).

Según las Naciones Unidas (2021), indica que los principios de la gestión de activos, son:

- Consiste en concentrarse en la vida útil completa del activo y base las decisiones en maximizar los beneficios a largo plazo para la comunidad y minimizar los costos a largo plazo. sin considerar solo posibles ahorros a corto plazo (Naciones Unidas, 2021).
- Utiliza un enfoque de gestión de cartera destinado a maximizar el valor de todos los activos, no solo uno o unos pocos. Como veremos más adelante, esta es una forma avanzada de gestión de activos que funciona de manera efectiva solo si todos los activos individuales se administran de manera eficiente a lo largo de su vida útil (Naciones Unidas, 2021).
- Asegura a las personas involucradas en la gestión del activo a lo largo de su vida útil sean competentes y calificadas (esto incluye ingenieros, contratistas, planificadores, profesionales de compras, etc.) (Naciones Unidas, 2021)

Las Naciones Unidas (2021), indica que los beneficios de la gestión de activos, son:

- Reducir el costo de la prestación de servicios mejora la sostenibilidad económica (Naciones Unidas, 2021).
- La justicia social y sus beneficios vienen porque las comunidades tienen más recursos para servicios e instalaciones (Naciones Unidas, 2021).
- La sostenibilidad y nuestra dependencia del medio ambiente aumentan a medida que se conservan los recursos y se presta atención a las soluciones a largo plazo en lugar de la conveniencia y los ahorros a corto plazo (Naciones Unidas, 2021).
- La valoración adecuada de los bienes naturales, como la tierra, los lagos, los ríos y los acuíferos, contribuye a la movilización de recursos, aumenta la voluntad política para protegerlos y garantiza que sirvan a las generaciones actuales y futuras. (Naciones Unidas, 2021).
- Los países podrán mejorar la resiliencia de los servicios públicos ante una variedad de riesgos, incluido el cambio climático y las emergencias de salud pública (Naciones Unidas, 2021).
- Los ciudadanos obtienen un servicio de mejor calidad y más confiable sin cortes de improviso o interrupciones indeterminadas (Naciones Unidas, 2021).
- La fortaleza financiera de los gobiernos locales al permitirles predecir los costos operativos futuros y financiar los presupuestos necesarios. La evaluación de riesgos está mejorando, lo que apoya a congregarse nuevas inversiones (Naciones Unidas, 2021).
- Los activos debidamente administrados y valuados pueden utilizarse como garantía para inversiones futuras (por ejemplo, catastrales debidamente titulados, registrados y valuados). (Naciones Unidas, 2021).

- Mayor transparencia gubernamental, la mejora de la comunicación con el público y mayor confianza en el gobierno (Naciones Unidas, 2021).
- Comunicarse de manera efectiva con los contribuyentes, los funcionarios electos, las agencias calificadoras, los reguladores y los inversionistas públicos o privados potenciales a medida que se documentan y comparten los planes y los resultados (Naciones Unidas, 2021).
- La maximización del valor de la inversión en infraestructura por medio de activos y servicios subyacentes contribuye a lograr objetivos nacionales e internacionales, incluyendo los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Naciones Unidas, 2021).

Las Naciones Unidas (2021), indica que las dificultades de la gestión de activos, son:

- La mala calidad de la información disponible sobre los activos dificulta su gestión eficaz y eficiente. Por ejemplo, registros de activos incompletos o inexactos (Naciones Unidas, 2021).
- Tener muy poco conocimiento de los activos. Esto puede contribuir a su no uso o mal uso. Esto acorta la vida útil del activo y aumenta los costes asociados al mismo (Naciones Unidas, 2021).
- La falta de claridad de posiciones, responsabilidades y obligaciones relacionadas con la gestión de activos entre niveles de gobierno o entre agencias, funcionarios y funcionarios. Esto afecta la eficiencia y puede dar lugar a costosas duplicaciones y errores (Naciones Unidas, 2021).
- La falta de procesos claros para establecer y comunicar políticas y lineamientos de gestión patrimonial desde el nivel central al local. Puede dar lugar a un uso indebido o una gestión inadecuada de los activos existentes y poner en peligro la adquisición de nuevos activos.

Esta dificultad puede deberse a la falta de conciencia de las fallas o problemas en la creación de un entorno propicio (Naciones Unidas, 2021).

Las Naciones Unidas (2021), indica que el ciclo de vida de un activo tangible consta de las etapas de planificación, adquisición, uso, operación y disposición final cuando ya no satisface sus necesidades. Cada fase varía en duración y costo (Ver Figura 4). El costo del ciclo de vida de un activo es la suma de los costos incurridos durante las cuatro fases.

**Figura 4**  
*Ciclo de vida de un activo físico*



La planificación es la fase más importante del ciclo de vida de una instalación, ya que define los requisitos de rendimiento y los niveles de servicio. Estas especificaciones determinan el tipo de servicio y la calidad que se espera de la instalación (Naciones Unidas, 2021).



**Figura 5**  
*Planificación en la gestión de activos, corto y largo plazo*



En la etapa de adquisición, la adquisición de un activo suele ser la etapa más corta de su ciclo de vida. Este es el caso cuando lleva planes y adquisiciones de nuevos activos que satisfacen nuevas necesidades, mejoramos la prestación de servicios o reemplazamos activos antiguos que ya no satisfacen las necesidades de la comunidad. Muchos consideran que esta etapa es la más costosa en el ciclo de vida de un activo, ya que requiere grandes pagos en un corto período de tiempo. En realidad, sin embargo, estos representan solo del 15% al 30% de los costos del ciclo de vida del activo (Naciones Unidas, 2021).

Durante la fase de uso, el activo proporciona servicios al gobierno de la comunidad. Esta es la más larga y costosa de las cuatro fases. Los costos incurridos en esta etapa representan del 60% al 80% del costo total del ciclo de vida de la planta y, a menudo, requieren el reemplazo de piezas críticas para mantener la planta en funcionamiento. Por ejemplo, es necesario reemplazar el motor de un camión o el techo de un edificio, o es necesario repavimentar una carretera (Naciones Unidas, 2021).

Dado que la disposición es la etapa final en el ciclo de vida de un activo, es importante planificar la disposición final de un activo, ya que el uso inadecuado puede consumir recursos innecesariamente (Naciones Unidas, 2021).

Los activos se descartan por las siguientes razones: rendimiento deficiente, incumplimiento de los ingresos esperados, incumplimiento de los requisitos porque son obsoletos u obsoletos y demasiado costosos de mantener (Naciones Unidas, 2021).

### **2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES**

**Carretera:** Se define como carreteras transitadas por vehículos motorizados de al menos dos ejes con las siguientes características geométricas: Por ejemplo: taludes laterales, taludes longitudinales, secciones transversales, superficies de rodadura y otros elementos deben cumplir con las normas técnicas vigentes (MTC, 2018).

**Gestión de conservación vial:** Es un conjunto de sistemas integrados que definen planificación, política, organización, financiamiento, ejecución, operación y gestión para que el mantenimiento vial garantice la seguridad, la economía, la liquidez y el bienestar de los usuarios. botella (MTC, 2018, p. 30).

**Gestión de infraestructura vial:** Un proceso destinado a combinar conocimientos de ingeniería, comerciales y gerenciales para lograr una asignación óptima de recursos para administrar, operar y mantener la infraestructura (Macea, et al., 2016).

**Operación y Mantenimiento:** Se define como la acción necesaria para restaurar un bien a su estado original en la medida de lo posible, pero excluyendo la rehabilitación y rehabilitación (Naciones Unidas, 2021).

**Programa de conservación vial:** Es un instrumento de actividades que realiza el empresario para ejecutar el servicio, tales como planes de gestión ambiental y social, planes de mantenimiento vial, inventarios viales de línea base y planes de calidad (MTC, 2018, p. 30).

**Razón de sostenibilidad:** Medida del alcance del reemplazo de activos cuando estos alcanzan el final de su vida útil (Naciones Unidas, 2021).

**Razón de financiación de renovación de activos:** Indica la capacidad del dueño de la propiedad para financiar renovaciones o reemplazos planificados si es necesario en el futuro (Naciones Unidas, 2021).

**Reparación:** Consiste en reparar, modificar o restaurar elementos de la infraestructura vial que se encuentren en mal estado por el tráfico o las cargas viales, o que hayan sido dañados por fuerzas naturales o por terceros (MTC, 2018, p. 31).

**Sistema de información de gestión de activos:** Un sistema que proporciona información crítica y mejora la colaboración (Naciones Unidas, 2021).

**Sistema de información geográfica (SIG):** Un sistema para manipular, capturar, visualizar, analizar y almacenar geográficamente datos de los activos (Naciones Unidas, 2021).

**Valor del servicio:** Es el nivel de servicio que un activo proporciona a sus usuarios, propietarios, comunidades y ciudadanos (Naciones Unidas, 2021).

**Valor financiero de un activo:** Es el costo por adquirir un activo (Naciones Unidas, 2021).

**Vida útil:** Este es el período durante el cual el activo funcionará para el propósito para el cual fue construido o adquirido sin costos imprevistos o pérdida de servicio debido al mantenimiento o reparaciones (Naciones Unidas, 2021).

## 2.4. HIPÓTESIS

### 2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La optimización heurística multiobjetivo influye favorable y significativamente en la gestión de activos de infraestructura de

transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía a través de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo

#### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS**

**H1:** Los parámetros de la optimización influye favorable y significativamente en la asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía.

**H2:** El desarrollo de los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental de la optimización influye favorable y significativamente en la asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía

**H3:** La ejecución del proceso de optimización influye favorable y significativamente en los recursos a través de la herramienta heurística multiobjetivo.

### **2.5. VARIABLES**

#### **2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

**Herramienta de Optimización Heurística Multiobjetivo:** Es un programa de asignación optima de conservación de recursos (Calderon, 2022).

#### **2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE**

**Gestión de activos de infraestructura:** Es el monitoreo de los objetos de valor que requieren un balance de costos, riesgos, oportunidad y rendimiento para el aprovechamiento eficiente del valor de los activos físicos (Naciones Unidas, 2021).

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 2**

*Definición de operacionalización de variables*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador	Valor final	Tipo de variable
Herramienta de Optimización Heurística Multiobjetivo	Un programa para la asignación óptima de recursos para la conservación de la naturaleza (Calderon, 2022).	Esta herramienta tiene como objetivo encontrar soluciones globales o locales a problemas de optimización.	Algoritmo Heurístico del Simulado recogido	Optimo global	Con optimo global Sin optimo global	categórica
Gestión de activos de infraestructura	El monitoreo de objetos valiosos requiere un equilibrio de riesgo, costo, oportunidad y rendimiento para utilizar de manera eficiente el valor de los activos físicos (Naciones Unidas, 2021).	La gestión de los activos de infraestructura se realiza mediante la planificación de programas de mantenimiento que consideran las desventajas económicas y técnicas de los problemas de optimización.	Planificación de la conservación de infraestructura	Programa de mantenimiento	Programa de mantenimiento con penalización Programa de mantenimiento sin penalización	categórica

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. ENFOQUE**

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo a través de una investigación descriptiva para que las variables puedan ser medidas estadísticamente e identificar relaciones causales entre hechos y fenómenos, describiendo una herramienta de optimización heurística multiobjetivo, pude conocer la relevancia y viceversa, la hipótesis que explica los resultados obtenidos en cuanto al efecto del fenómeno (Hernández y Mendoza, 2018, p. 104 - 112).

El enfoque cuantitativo trata en indagar estadísticamente la representación de la realidad en datos numéricos (Hernández y Mendoza, 2018, p. 310).

##### **3.1.2. ALCANCE O NIVEL**

La investigación es de nivel explicativo debido a que va a indagar sobre la influencia de la optimización heurística multiobjetivo explicando el por qué demostrándose a través de datos estadísticos como gráficos y tablas, esto permitirá medir la influencia entre las variables, como también la contrastación de hipótesis explicando de esta manera los resultados según los efectos del fenómeno, con el fin de probar o refutar teorías.

El nivel explicativo permite explicar la relación causal de las variables observando los hechos que ya sucedieron durante la investigación (Hernández y Mendoza, 2018, p. 179).

##### **3.1.3. DISEÑO**

El trabajo de investigación es cuasi experimental - longitudinal porque se indagará a la herramienta de optimización heurística

multiobjetivo con respecto a sus causas, consecuencias o influencia de la gestión de activos de infraestructura, evaluando en un periodo de 25 años.

El diseño de investigación cuasi experimental consiste en indagar la variable independiente sobre las variables dependientes para determinar las causas, esto permitirá realizar la contrastación de hipótesis (Hernández y Mendoza, 2018, p. 173).

El diseño cuasiexperimental se caracteriza por tener grupos intactos, no se asignan aleatoriamente, no existe equivalencia inicial de los grupos. Por ello, no existe control o validez interna durante el experimento para controlar la influencia de las fuentes de la invalidación interna. A pesar de sus limitaciones, los diseños cuasi-experimentales tienen la ventaja al menos de manipular deliberadamente una variable independiente, para luego analizar sus efectos y conocer la relación causal de una o más variables (Silvestre y Nahula, 2019, p. 295).

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

Según Hernández y Mendoza (2018), indica que la población es el conjunto de casos que cumplan ciertas características, límites que son definidos para el estudio.

Para nuestro caso de estudio, la población son todos los sectores dañados de la vía interurbana (Puente Chino-Aguaytía), por tanto, según PROVIS NACIONAL (2012), en su estudio definitivo mostro 27 sectores críticos, por tanto, estos sectores dañados son la población de la investigación.

### **3.2.2. MUESTRA**

La muestra de la investigación es censal, por tanto, toda la población conforma la muestra y todas las unidades son considerados como muestra, es decir todos los sectores críticos del Puente Chino-

Aguaytía serán indagados, con el fin de lograr los objetivos de la investigación.

**Tabla 3**  
*Zonas críticas (tramos) de estudio*

Zona crítica N° (Tramos)	Progresiva		Longitud (m)
	Inicio	Fin	
1	52+100.15	52+280	179.85
2	52+280	52+400	120.00
3	52+400	52+600	200.00
4	56+440	56+610	170.00
5	56+610	56+700	90.00
6	57+370	57+630	260.00
7	57+630	57+830	200.00
8	59+700	59+860	160.00
9	60+600	61+000	400.00
10	61+520	61+800	280.00
11	61+960	62+190	230.00
12	63+280	63+600	320.00
13	63+600	64+000	400.00
14	64+000	64+500	500.00
15	64+500	64+610	110.00
16	64+740	64+840	100.00
17	64+840	65+020	180.00
18	66+200	66+800	600.00
19	66+800	67+000	200.00
20	67+000	67+280	280.00
21	67+280	67+920	640.00
22	67+920	68+320	400.00
23	70+000	70+100	100.00
24	70+400	71+323.99	923.99
25	73+260	73+800	540.00
26	75+340	75+520	180.00
27	76+240	76+420	180.00



### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.3.1. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS**

Los instrumentos son los registros de data que se obtuvieron de las instituciones que manejen sistemas de información (SENAMHI, sistema nacional de información de carreteras – SINC).

#### **3.3.2. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN**

Los datos obtenidos en el proceso de inventario y luego de la evaluación de módulos técnicos, económicos y ambientales se realizó a través de los métodos heurísticos con el fin de resolver el problema de optimización de un programa de conservación en la vía interurbana puente Chino - Aguaytía basado la solución óptima.

Por ello, se realizaron las siguientes actividades orientadas a resolver cada objetivo de la investigación:

#### **3.3.3. PARÁMETROS DE OPTIMIZACIÓN DEL PROBLEMA**

Para la aplicación de la herramienta de optimización del programa de conservación vial se aplicó los siguientes parámetros.

##### **a) Parámetros de inventario**

En nuestro estudio se considera una va interurbana (Puente Chino-Aguaytía), situada en la Región Ucayali, perteneciente a la ruta nacional PE-5N (Tingo María – Aguaytía – Pucallpa) actualmente asfaltada, se establecerán los datos:

**Precipitación promedio anual:** Estos datos serán obtenidos a partir del servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI)

**Extensión de la vía interurbana (Puente Chino-Aguaytía):** Se estableció la longitud total de la vía interurbana Puente Chino-Aguaytía y las longitudes de cada tramo que subdividen la vía interurbana de estudio (Anexo 2).

Para la subdivisión se distribuyó las 27 zonas críticas en toda la vía interurbana Puente Chino-Aguaytía, estas zonas críticas son el criterio principal para subdividir esta vía interurbana en 27 tramos, estos tramos fueron selectos con el objetivo de acopiar pavimentos de diferentes niveles de deterioros y tipos de estructura (hormigón y asfalto).

La Tabla 3, muestra los tramos con la estructura del pavimento (asfalto u hormigón), así como su anchura e índice de condición de pavimento interurbano inicial (ICPI<sub>ini</sub>, IRI).

## **b) Parámetros Técnicos**

Los parámetros técnicos recolectan información de los siguientes indicadores:

**Condición inicial:** La condición inicial será determinado a través del índice de rugosidad internacional (IRI) establecida por el Banco Mundial, es un índice conveniente para indagar la condición de las vías de los pavimentos interurbanos (Marcobal, et al., 2017)

**Modelos de deterioro:** Para establecer los modelos de deterioro se analizaron las curvas de deterioro según la estructura de activo (pavimento flexible) y su clasificación funcional (Osorio, et al., 2018)

**Catálogo de tratamientos:** Los tratamientos que se aplicaron para la conservación de pavimentos flexibles (Ver Tabla 4), si bien en el manual de carreras se abarcan algunos de estos tratamientos, la literatura nos muestra que se pueden aplicar otros tipos de tratamientos (ver ítem 2.2.6).

**Tabla 4**  
*Tratamientos de conservación del estudio*

---

<b>Tratamiento para pavimento flexibles</b>
Riego de neblina
Lechada asfáltica
Sello de agregado
Microaglomerado en frío
Recrecido funcional
Reciclado in situ en caliente
Reciclado in situ en frío
Recrecido estructural con asfalto
Reconstrucción

---

**Umbrales de aplicación de tratamientos:** Los tratamientos son la diferenciación de intensidad e intervención, determinándose su aplicación según los tipos de deterioros y su severidad. Es decir, se determinarán los índices de condición (IRI) en el cual se aplicará cada tratamiento.

**Efectos de aplicación de tratamientos:** Produce un incremento de la vitalidad del pavimento e incremento de su condición (IRI) durante su aplicación, para efectos de esta investigación se determinará el efecto que tiene cada tratamiento en la condición y vida útil del pavimento.

### **c) Parámetros económicos**

**Costes económicos:** Los costos estimados son producto de la búsqueda de la literatura en Santes (2021), Huang, et al., (2021), Shi, et al., (2021), sin embargo, a estos costes se le aplicará un factor de corrección que refleje la diferencia entre el coste de aplicación en casos internacionales y el caso peruano; este coeficiente se calculará a partir de la diferencia promedio de aquellos costes en los que se disponga de datos tanto en la aplicación internacional como peruana (Ver Tabla 5).

**Tabla 5***Costo de los tratamientos en los pavimentos asfálticos o flexibles*

<b>Tratamiento para pavimento flexibles</b>	<b>Coste (US\$/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Coste (Soles/m<sup>2</sup>) *</b>
Riego de neblina	2.19	8.541
Lechada asfáltica	4.69	18.291
Sello de agregado	4.90	19.11
Microaglomerado en frío	7.76	30.264
Recrecido funcional	25.90	101.01
Reciclado in situ en caliente	53.54	208.806
Reciclado in situ en frío	54.65	213.135
Recrecido estructural con asfalto	63.79	248.781
Reconstrucción	143	557.7

\* Tipo de cambio de dólar a soles fue de 3.90

#### **d) Parámetros ambientales**

**Impacto ambiental a partir de las emisiones de CO<sub>2</sub> en cada tratamiento:** Se ha centrado en las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de los tratamientos para conservar.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se obtendrán mediante evaluaciones con la herramienta informática paLATE con el fin obtener un modelo (Recycled Materials Resource Center, 2020).

La Tabla 6, muestra la evaluación con la herramienta paLATE se considerarán las distancias de transporte a la producción de áridos, planta asfáltica y vertederos autorizados cercas a la vía interurbana Puente Chino-Aguaytía.

**Tabla 6***Emisiones de CO2 de los tratamientos en pavimentos asfálticos*

<b>Tratamiento para pavimento flexibles</b>	<b>Emisiones (Kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</b>
Riego de neblina	0.04
Lechada asfáltica	0.32
Sello de agregado	0.43
Microaglomerado en frio	1.51
Recrecido funcional	6.75
Reciclado in situ en caliente	6.70
Reciclado in situ en frio	5.49
Recrecido estructural con asfalto	13.11
Reconstrucción	27.36

#### **e) Decisiones tomadas a nivel estratégico**

**Presupuesto disponible:** En la actualidad es importante recalcar que se produce una conservación reactiva de los pavimentos, tratados cuando muestran niveles altos de desgaste, por medio de los recrecidos estructurales. En el estudio se estableció como escenario base al simular los gastos derivados.

Para establecer el presupuesto disponible o un escenario presupuestario se simulará el mantenimiento de la practica actual de la vía interurbana Puente chino – Aguaytía. En la simulación se estableció los pavimentos con el valor de condición mínimo aceptable (IRI mínimo).

Considerando consideraciones, se simulo en un programa de conservación la implementación en un plazo de 25 años.

**Periodo de análisis:** El plazo de análisis incumbe al horizonte temporal para cuantificar los beneficios y/o costes procedentes de las opciones de conservación. En este estudio se consideró un plazo de 25 años, sugeridos por Naciones Unidas (2021) que recomienda plazos de análisis de 3 a 50 años de la vida útil típica de un activo de infraestructura (p. 14).

**Tasa de descuento:** Se estableció una tasa de descuento para evaluaciones de proyectos sociales, y se establecerá según la siguiente tabla

**Tabla 7**  
*Tasa de descuento social a largo plazo*

<b>Años</b>	<b>Tasa</b>
21-49	5.5%
50 a 74	4.0%
75 a 99	3.0%
100 a 149	2.0%
150 a 199	2.0%
200 a mas	1.0%

**Niveles mínimos de indicadores:** La restricción técnica considera que nadie de los tramos puede mostrar un estado que requiera la restitución del mismo, para ello se usaran los datos obtenidos en el inventario (umbrales de aplicación de tratamientos).

**Módulos de evaluación:** Se lleva a cabo la valoración técnica ambiental y económica de las opciones para conservar.

La evaluación técnica estima la condición de la infraestructura en el tiempo valor a partir del cual puede establecer la efectividad del plan de conservación, establecido en la ecuación 6. De la misma forma, la evaluación económica establece el flujo de costes en el plazo de análisis, comparándose con el presupuesto utilizable para conservar la infraestructura vial. Finalmente, el módulo de evaluación ambiental cuantifica cuantificara el impacto del programa de conservación medido en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> generados en los tratamientos.

**Proceso de optimización:** La optimización de retribución de recursos para la gestión de conservación de infraestructura en la vía interurbana puente Chino-Aguaytía, se encuentra en el enfoque holístico con la existencia de una buena cantidad de opciones (tratamientos de

conservación), por lo que es más adecuado usar el método de optimización multiobjetivo. Para el proceso de optimización primero se establecerá la función objetivo la cual estará dada por el siguiente problema no condicionado y sus respectivas penalizaciones:

$$\max f_1(x) = \max \sum_{n=1}^N ABC_n - \sum_{n=1}^N PF_{tec,n} - \sum_{t=0}^T PF_{eco,t}$$

Donde:

$ABC_n$  : efectividad del activo n de la vía interurbana

$PF_{tec,n}$  y  $PF_{eco,t}$  : funciones de penalización para las restricciones

Como restricciones, se consideró lo siguiente:

#### f) Penalización técnica

Para la penalización técnica se aplicó el siguiente modelo:

$$PF_{tec,n} = \begin{cases} 0, & IC_n(t) \geq IC_{min,n} \\ \sum_{t=0}^T k_{1tec} + k_{2tec} \cdot IC_n(t), & IC_n(t) < IC_{min,n} \end{cases}$$

Donde:

$IC_n(t)$  : activo n en el año t

$IC_{min,n}$  : condición mínima exigida para el activo n

$k_{1tec}$  : penalización técnica fija

$k_{2tec}$  : penalización que controla el aumento de la penalización.

#### g) Penalización económica

Para la penalización económica se aplicó el siguiente modelo:

$$PF_{eco,n} = \begin{cases} 0, & \sum_{n=1}^N coste(x_{nt}) \cdot \frac{1}{(1+i)^t} \leq B(t) \\ k_{1eco} + k_{2eco} \cdot \sum_{n=1}^N coste(x_{nt}) \cdot \frac{1}{(1+i)^t}; & \sum_{n=1}^N coste(x_{nt}) \cdot \frac{1}{(1+i)^t} > B(t) \end{cases}$$

Para:

Coste ( $x_{nt}$ ): coste del tratamiento considerado en el plan de conservación de  $n$  y año  $t$

$B(t)$  : presupuesto disponible para el año  $t$

$I$  : tasa de descuento

$k_{1eco}$  : penalización económica fija

$k_{2eco}$  : penalización que controla el aumento de la penalización anual.

Para la solución del problema de optimización no condicionado se usó la metaheurística Simulado Recocido (SA), el cual pretende solucionar el problema y descubrir una solución global a través de procedimientos como los establecidos en la Figura 1.

Para la operación con esta metaheurística (SA) se determinarán los siguientes factores:

Como características del movimiento se usará el óptimo local obtenido de otra metaheurística de gradiente de búsqueda local (GLB)

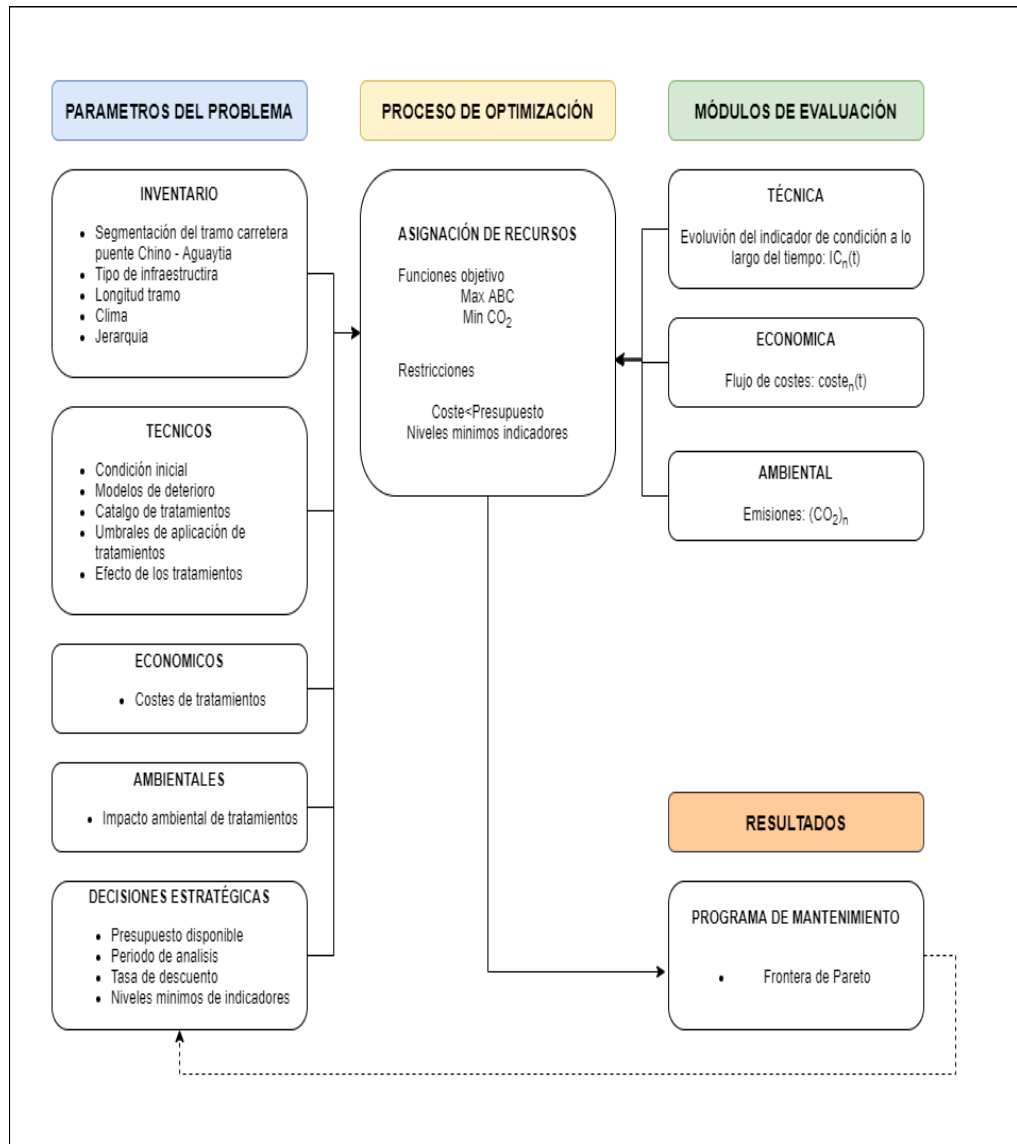
- Para la longitud de la cadena de Markov se explorarán se explorarán seis niveles de este factor: 100, 250, 500, 1000, 5000, 10000
- Como temperatura inicial ( $Temp_0$ ) se usará una temperatura inicial obtenido a través del algoritmo de propuesto por
- Para el coeficiente de enfriamiento ( $r$ ) se analizarán tres niveles de este factor 0.8, 0.9, 0.99.
- Para e criterio de parada se analizarán 4 niveles 1,2,3 y 4.

Bajo las condiciones establecidas la factorial para la calibración heurística del recocido simulado queda definida de la siguiente tabla:





**Figura 6**  
*Proceso de Optimización del Programa de Mantenimiento*



## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS**

Para el procesamiento de los datos se realizó con la herramienta de Microsoft Excel donde los resultados se presentaron mediante tablas y graficas.

##### **4.1.1. ANÁLISIS DE INVENTARIO DE LOS ESCENARIOS**

Para la validación del algoritmo, se recopilaron datos de inventario que se han considerado en los distintos escenarios que se| analizan a continuación.

**Tabla 9**  
*Inventario en escenarios de validación estructurante (E)*

ID	ASALTO (100%)			ASALTO (75%)			ASALTO (50%)			ASALTO (25%)			ASALTO (0%)		
	Red	Estructura	ICPU	Red	Estructura	ICPU	Red	Estructura	ICPU	Red	Estructura	ICPU	Red	Estructura	ICPU
1	E	A	5.3	E	A	5.3	E	A	5.3	E	A	5.3	E	H	5.3
2	E	A	5.3	E	A	5.3	E	A	5.3	E	A	5.3	E	H	5.3
3	S	A	6.2	S	A	6.2	S	A	6.2	S	A	6.2	S	H	6.2
4	E	A	6.2	E	A	6.2	E	A	6.2	E	A	6.2	E	H	6.2
5	E	A	3.2	E	A	3.2	E	A	3.2	E	A	3.2	E	H	3.2
6	E	A	7.5	E	A	7.5	E	A	7.5	E	A	7.5	E	H	7.5
7	E	A	4.2	E	A	4.2	E	A	4.2	E	A	4.2	E	H	4.2
8	S	A	4.4	S	A	4.4	S	A	4.4	S	H	4.4	S	H	4.4
9	E	A	6.2	E	A	6.2	E	A	6.2	E	H	6.2	E	H	6.2
10	E	A	5.3	E	A	5.3	E	A	5.3	E	H	5.3	E	H	5.3
11	E	A	5.1	E	A	5.1	E	A	5.1	E	H	5.1	E	H	5.1
12	S	A	9.3	S	A	9.3	S	A	9.3	S	H	9.3	S	H	9.3
13	S	A	5.2	S	A	5.2	S	A	5.2	S	H	5.2	S	H	5.2
14	E	A	6.3	E	A	6.3	E	H	6.3	E	H	6.3	E	H	6.3
15	E	A	9.4	E	A	9.4	E	H	9.4	E	H	9.4	E	H	9.4
16	E	A	3.8	E	A	3.8	E	H	3.8	E	H	3.8	E	H	3.8
17	E	A	7.8	E	A	7.8	E	H	7.8	E	H	7.8	E	H	7.8
18	E	A	7.6	E	A	7.6	E	H	7.6	E	H	7.6	E	H	7.6
19	S	A	5.2	S	A	5.2	S	H	5.2	S	H	5.2	S	H	5.2

20	S	A	8.5	S	A	8.5	S	H	8.5	S	H	8.5	S	H	8.5
21	S	A	5.4	S	H	5.4	S	H	5.4	S	H	5.4	S	H	5.4
22	E	A	6.2	E	H	6.2	E	H	6.2	E	H	6.2	E	H	6.2
23	E	A	5.2	E	H	5.2	E	H	5.2	E	H	5.2	E	H	5.2
24	E	A	5.8	E	H	5.8	E	H	5.8	E	H	5.8	E	H	5.8
25	E	A	3.6	E	H	3.6	E	H	3.6	E	H	3.6	E	H	3.6
26	E	A	6.2	E	H	6.2	E	H	6.2	E	H	6.2	E	H	6.2
27	E	A	7.5	E	H	7.5	E	H	7.5	E	H	7.5	E	H	7.5

**Tabla 10**  
*Inventario en escenarios de validación secundaria (S)*

ID	ASALTO (100%)			ASALTO (75%)			ASALTO (50%)			ASALTO (25%)			ASALTO (0%)		
	Red	Estructura	ICPU	Red	Estructura	ICPU	Red	Estructura	ICPU	Red	Estructura	ICPU	Red	Estructura	ICPU
1	S	A	4.2	S	A	4.2	S	A	4.2	S	A	4.2	S	H	4.2
2	S	A	4.6	S	A	4.6	S	A	4.6	S	A	4.6	S	H	4.6
3	S	A	6.3	S	A	6.3	S	A	6.3	S	A	6.3	S	H	6.3
4	S	A	6.3	S	A	6.3	S	A	6.3	S	A	6.3	S	H	6.3
5	S	A	3.2	S	A	3.2	S	A	3.2	S	A	3.2	S	H	3.2
6	S	A	4.2	S	A	4.2	S	A	4.2	S	A	4.2	S	H	4.2
7	E	A	4.6	E	A	4.6	E	A	4.6	E	A	4.6	E	H	4.6
8	S	A	5.2	S	A	5.2	S	A	5.2	S	H	5.2	S	H	5.2
9	E	A	6.2	E	A	6.2	E	A	6.2	E	H	6.2	E	H	6.2
10	S	A	4.4	S	A	4.4	S	A	4.4	S	H	4.4	S	H	4.4
11	S	A	4.3	S	A	4.3	S	A	4.3	S	H	4.3	S	H	4.3
12	S	A	6.2	S	A	6.2	S	A	6.2	S	H	6.2	S	H	6.2
13	E	A	6.6	E	A	6.6	E	A	6.6	E	H	6.6	E	H	6.6
14	E	A	4.8	E	A	4.8	E	H	4.8	E	H	4.8	E	H	4.8
15	E	A	4.2	E	A	4.2	E	H	4.2	E	H	4.2	E	H	4.2
16	S	A	3.6	S	A	3.6	S	H	3.6	S	H	3.6	S	H	3.6
17	S	A	3.2	S	A	3.2	S	H	3.2	S	H	3.2	S	H	3.2
18	S	A	7.8	S	A	7.8	S	H	7.8	S	H	7.8	S	H	7.8
19	S	A	5.4	S	A	5.4	S	H	5.4	S	H	5.4	S	H	5.4

20	S	A	8.6	S	A	8.6	S	H	8.6	S	H	8.6	S	H	8.6
21	S	A	6.1	S	A	6.1	S	H	6.1	S	H	6.1	S	H	6.1
22	E	A	3.5	E	A	3.5	E	H	3.5	E	H	3.5	E	H	3.5
23	S	A	4.8	E	A	4.8	E	H	4.8	E	H	4.8	E	H	4.8
24	E	A	5.4	E	A	5.4	E	H	5.4	E	H	5.4	E	H	5.4
25	E	A	3.6	E	A	3.6	E	H	3.6	E	H	3.6	E	H	3.6
26	S	A	5.4	S	A	5.4	S	H	5.4	S	H	5.4	S	H	5.4
27	E	A	6.2	E	A	6.2	E	H	6.2	E	H	6.2	E	H	6.2

Las Tablas 9 y 10, evidencian que los ICPU han disminuido significativamente en la red y estructura, siendo en el asalto (100%) la optimización esperada. Debido a que posiblemente permita la reducción de costos a un nivel óptimo.

### 7.1.1. RESULTADOS DE VALIDACIÓN

**Tabla 11**

*Resultados de validación estructurante (E)*

Condición	Variables	Tipo pavimento				
	Validación	ASALTO (100%)	ASALTO (75%)	ASALTO (50%)	ASALTO (25%)	ASALTO (0%)
<b>Buena</b>	ABC (%)	0%	5%	13%	16%	23%
	N (%)	32%	-12%	-12%	-54%	-73%
<b>Regular</b>	ABC (%)	58%	32%	21%	14%	19%
	N (%)	125%	3%	83%	65%	-15%
<b>Mala</b>	ABC (%)	0%	0%	3%	2%	7%
	N (%)	-8%	48%	-4%	35%	28%
<b>Uniforme</b>	ABC (%)	34%	-3%	18%	5%	-7%
	N (%)	21%	65%	58%	43%	-9%



**Tabla 12***Resultados de validación secundaria (S)*

Condición	Variables	Tipo pavimento				
	Validación	ASALTO (100%)	ASALTO (75%)	ASALTO (50%)	ASALTO (25%)	ASALTO (0%)
Buena	ABC (%)	-4%	-5%	53%	64%	4%
	N (%)	-7%	33%	-27%	53%	-13%
Regular	ABC (%)	-14%	-12%	-13%	-17%	-25%
	N (%)	-43%	-23%	23%	42%	46%
Mala	ABC (%)	13%	9%	-16%	-5%	-9%
	N (%)	-38%	-45%	-7%	8%	12%
Uniforme	ABC (%)	0%	0%	-7%	-4%	0%
	N (%)	-53%	-65%	32%	83%	34%

## 7.1.2. RESULTADOS DE LAS SOLUCIONES OPTIMAS MULTIOBJETIVO

La Table 13, muestra las soluciones optimas donde el presupuesto con solución de máxima efectividad (ABCmax) fue de S/. 1,954,964.00; además, con mayor efectividad y solución recomendada (Nmin) se logró un coste de S/. 1,324,911.00 con la solución ambiental de emisiones mínimas de S/.1,554,998.00 y la solución de máxima efectividad fue de S/. 1,632,961.00; el índice de medición de pavimentos urbanos (ICPU) con respecto a la penalización en su máxima efectividad fue de S/. 2,743.00, la solución recomendada fue de S/. 2,632.00 y con la solución ambiental de emisiones mínimas de S/. 2,192.00; y como penalización se logró una optimización máxima con S/. 0.00; la máxima efectividad (ABCmax) penalizada en ICPU años en su máxima efectividad fue de S/. 2,743.00, la solución recomendada fue de S/. 2,632.00 y con la solución ambiental de emisiones mínimas de S/. 2,192.00; el número de iteraciones (ud) en su máxima efectividad fue de S/. 22,723.00, la solución recomendada fue de S/. 12,671.00 y con la solución ambiental de emisiones mínimas de S/. 15,981.00; con respecto a las emisiones (Kg CO2) se logró una máxima efectividad de S/. 723,856.00, la solución recomendada fue de S/. 745,672.00 y con la solución ambiental de emisiones mínimas de S/. 723,196.

**Tabla 13**  
*Características de las soluciones optimas*

<b>Soluciones</b>	<b>ABCmax</b>	<b>Nmin</b>	<b>EMImin</b>
<b>Presupuesto (S/.)</b>		1954964	
<b>Coste (S/.)</b>	1632961	1324911	1554998
<b>ABCmax (ICPU años)</b>	2743	2632	2192
<b>Penalización (ICPU años)</b>	0	0	0
<b>ABCmax Penalizada (ICPU años)</b>	2743	2632	2192
<b>Numero de iteraciones (ud)</b>	22723	12671	15981
<b>Emisiones (Kg CO2)</b>	723856	745672	723196

## **4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **4.2.1. HIPÓTESIS GENERAL**

**HG:** La optimización heurística multiobjetivo influye favorable y significativamente en la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía a través de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo.

**HG<sub>0</sub>:** La optimización heurística multiobjetivo no influye favorable y significativamente en la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía a través de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo.

Según la Tabla 13, muestra cómo se obtiene las soluciones optimas de los recursos para un valor máximo y mínimo, esto nos indica que la herramienta de optimización heurística multiobjetivo influye favorable y significativamente en la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía, la cual se encuentra contrastada a través del análisis de inventario de los escenarios, los resultados de validación estructurante y secundaria, con las soluciones optimas multiobjetivo se demuestra una influencia significativa debido a que los costos se han optimizado satisfactoriamente, por tanto, se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula.

### **4.2.2. HIPÓTESIS ESPECIFICA 1**

**H1:** Los parámetros de la optimización influye favorable y significativamente en la asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía.

**H1<sub>0</sub>:** Los parámetros de la optimización no influye favorable y significativamente en la asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía

Las Tablas 9 y 10, muestra el inventario de los escenarios donde se especifican los parámetros del problema de optimización, observándose una asignación apropiada, por tanto, se concluye que los parámetros de la optimización influye favorable y significativamente en la asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía, debido a que la red, estructura e ICPU durante la validación mostraron resultados satisfactorios porque el ICPU según cada tramo se han reducido, lo que significa reducción de costos demostrando que la optimización heurística multiobjetivo ha generado en los tramos la optimización de costos tanto en la red como estructura. Por tanto, la hipótesis de investigación se acepta y se rechaza la hipótesis nula.

#### **4.2.3. HIPÓTESIS ESPECIFICA 2**

**H2:** El desarrollo de los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental de la optimización influye favorable y significativamente en la asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía.

**H2<sub>0</sub>:** El desarrollo de los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental de la optimización no influye favorable y significativamente en la asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía

Las Tablas 11, 12, 13, muestra que los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental permiten la asignación apropiadamente los recursos con el fin de conservar los activos de infraestructura con valores óptimos para que la alta dirección tome decisiones adecuadas.

Con respecto a la evaluación técnica el deterioro del pavimento de los tramos es evidente tanto en su estructura y su red, al aplicar los tratamientos en estos tramos se ha logrado incrementar la vida útil del pavimento asfáltico.

Con respecto al aspecto económico los costos del tratamiento de los pavimentos asfálticos se han logrado reducir a un nivel óptimo.

Con respecto al aspecto ambiental las emisiones de CO<sub>2</sub> durante el proceso del tratamiento de los pavimentos asfálticos se redujeron significativamente la contaminación del aire debido a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por tanto, la hipótesis de investigación se acepta y se rechaza la hipótesis nula.

#### **4.2.4. HIPÓTESIS ESPECIFICA 3**

**H3:** La ejecución del proceso de optimización influye favorable y significativamente en los recursos a través de la herramienta heurística multiobjetivo.

**H3<sub>0</sub>:** La ejecución del proceso de optimización no influye favorable y significativamente en los recursos a través de la herramienta heurística multiobjetivo.

La Tabla 13, muestra que durante la ejecución del proceso de optimización el uso de los recursos y los costos han reducido a un nivel óptimo avalándose su validación en los ICPU, esto servirá como toma de decisión para las autoridades, y a su vez los niveles óptimos de los recursos en los pavimentos asfálticos a permitido respetar el presupuesto disponible, reducir el periodo de análisis y las penalizaciones.

Por tanto, la hipótesis de investigación se acepta y se rechaza la hipótesis nula.

## CAPITULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La optimización heurística multiobjetivo es eficiente para encontrar soluciones optimas al problema de gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera, esto concuerda con Santes (2021), Huang, et al, (2021), Yepes, et al., (2020), Martí, et al., (2017), indicando que para un mantenimiento optimo la herramienta de optimización multiobjetivo y el algoritmo heurístico es un modelo factible, robusto, eficiente y eficaz para la solución de problemas, asimismo permite optimizar los costes. Por tanto, al usar la herramienta de optimización heurística multiobjetivo en los sectores críticos del Puente Chino-Aguaytía, permite una gestión de activos físicos apropiados, esto concuerda con Hamdi, et al, (2017), donde el modelo multiobjetivo con optimización es apropiado para la gestión de activos viales.

Sin embargo, se ha observado que los métodos de optimización multiobjetivo presentaron limitaciones al momento de identificar los parámetros del problema de optimización de asignación de recursos para la conservación de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera. Esta observación concuerda con Shi, et al., (2021), manifestando que la optimización multiobjetivo se aplica descomponiendo los problemas de gran escala a varios modelos de proceso de decisión. Esto nos indica que es necesario distribuir apropiadamente los tramos o puntos críticos de la carretera del Puente Chino-Aguaytía, y a su vez los parámetros de evaluación.

Los programas óptimos al desarrollar los módulos de evaluación del problema de optimización de asignación de recursos para conservar los activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía consideran una conservación productiva de la red, esto concuerda con Sedano y Sedano (2020), indicando que la heurística influye positivamente en la optimización de pavimentos. Y Chuquilin, et al., (2019) demostró que el nivel financiero y técnico permite la rentabilidad de los activos entregando un valor para la organización.

La herramienta de optimización heurística multiobjetivo permite gestionar de manera adecuada los activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera. Los parámetros son los adecuados para la conservación de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera. Esto concuerda con Chuquilin, et al., (2019), manifestando que la gestión de activos en la infraestructura vial permite aumentar el valor de los activos, sin embargo, Rojas (2018), obtuvo insuficiencia en la gestión de mantenimiento vial afectando negativamente los activos de infraestructura, debido a un adecuado mantenimiento periódico y rutinario de las vías.

El desarrollo de los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental del problema de optimización de asignación de recursos son los adecuados para la conservación de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera. Según Carballo (2019) y García (2019), indican que, para poder resolver problemas de multiobjetivo, es decir la evaluación técnica, económica y ambiental, la optimización multiobjetivo permite identificar una solución óptima. Por ello que el desarrollo de estos modelos permitió la asignación adecuada de los recursos.

La ejecución del proceso de optimización asigna adecuadamente los recursos a través de la herramienta heurística multiobjetivo. Según García (2019), manifiesta que cuando se ejecuta el proceso de optimización se realiza una comparación de las soluciones obtenidas, es allí donde los responsables identifican la solución óptima para el problema. Además, estos procesos son costosos, según Calderon (2022), es necesario aplicar restricciones para que la ejecución del proceso de optimización sea conveniente.

## CONCLUSIONES

1. La optimización heurística multiobjetivo influye favorable y significativamente en la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera a través de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo. Debido a que la herramienta fue robusta, factible, eficaz y eficiente para los tratamientos de los pavimentos asfálticos de cada tramo de estudio reduciendo los costos.
2. Los parámetros de la optimización influyen favorable y significativamente en la asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera. Debido a que, en la red, estructura e ICPU durante la validación mostraron resultados satisfactorios porque el ICPU según cada tramo se han reducido, lo que significa reducción de costos.
3. El desarrollo de los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental de la optimización influye favorable y significativamente en la asignación de recursos para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera, debido a que al aplicar los tratamientos en estos tramos se ha logrado incrementar la utilidad del pavimento asfáltico, reducción de las emisiones CO<sub>2</sub> y de costos.
4. La ejecución del proceso de optimización asigna adecuadamente los recursos a través de la herramienta heurística multiobjetivo. Debido a que la herramienta de optimización heurística multiobjetivo aplico restricciones enfocados a obtener una solución óptima y conveniente para la carretera.



## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda continuar con la investigación para ampliar los parámetros de evaluación, y a su vez continuar con la teoría de la Optimización Heurística Multiobjetivo debido a que es un tema en evolución.
2. Se recomienda realizar otro estudio de los tramos deteriorados de la carretera con el fin de identificar los tramos perjudicados adecuadamente debido a que falta actualizar la información desde el año 2012, asimismo esto permitirá a la Municipalidad de Ucayali establecer estrategias de reducción de gastos de mantenimiento de la infraestructura vial y prevenirse en los próximos años de las inundaciones y deslizamientos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Almeida, N., Trindade, M., Komljenovic, D., y Finger, M. (2022). A conceptual construct on value for infrastructure asset management. *Utilities Policy*, 75. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101354>
- Amendola, L., Depool, T., y Tinoco, F. (2017). Estudio de la aplicación de la gestión de activos en infraestructura vial colombiana: diseño de un modelo de gestión. *21th International Congress on Project Management and Engineering*. Cádiz. Recuperado el 10 de julio de 2022
- Aranda, T., y Gamarra, W. (2019). *Planteamiento de soluciones de reducción de fallas de plataforma para mantener la estabilidad de la carretera puente Chino-Aguaytía*. Lima: Universidad Ricardo Palma. Recuperado el 10 de julio de 2022, de [https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2687/CIV\\_T030\\_73646590\\_T%20%20%20ARANDA%20BALCAZAR%20%20TIFANNY%20GRACIELA.pdf](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2687/CIV_T030_73646590_T%20%20%20ARANDA%20BALCAZAR%20%20TIFANNY%20GRACIELA.pdf)
- Ardaya, D. (2020). *Guía de diseño para el reciclaje en frío de pavimentos flexibles mediante el uso de agentes estabilizantes bituminosos*. Recuperado el 5 de julio de 2022, de <http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/17679>
- Barrientos, G. (2017). *Mejora de la gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF*. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola. Recuperado el 7 de julio de 2022, de <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2a368ebf-71a2-4749-a1eb-1813ec9564d5/content>
- Bruce, R. (2017). Performance Management for the Oil, Gas, and Process Industries. En *Chapter 22 - Physical Assets* (págs. 339-362). Elsevier Inc. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810446-0.00022-0>
- Calderon, F. (2022). *Optimización*. México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Recuperado el 10 de julio de 2022, de

<https://lc.fie.umich.mx/~calderon/optimizacion/notas/optimizacion.pdf>

- Carballo, J. (2019). *Programación Lineal Multiobjetivo y Aplicaciones*. Universidad de Santiago de Compostela, Universidade da Coruña, Universida de Vigo. Recuperado el 7 de julio de 2022, de [http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto\\_1555.pdf](http://eio.usc.es/pub/mte/descargas/ProyectosFinMaster/Proyecto_1555.pdf)
- Chan, P., y Tighe, S. (2010). *Quantifying pavement sustainability in economic and environmental perspective*.
- Chuquilin, C., Huarcaya, A., Moreno, A., y Rojas, R. (2019). *Propuesta de un plan de gestión de mantenimiento, para aumentar el valor de los activos de maquinaria pesada que se utiliza en proyectos de infraestructura vial, dentro de los lineamientos de la norma ISO 55001:2014; caso de estudio: Empresa Constructora*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicada. Recuperado el 7 de julio de 2022, de [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652238/Chuquilin\\_CC.pdf](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652238/Chuquilin_CC.pdf)
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (2020). *Simulaciones del precio social del carbono en el sector Infraestructura en países seleccionados de América Latina y el Caribe*. Recuperado el 10 de julio de 2022, de [https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/note/files/4\\_PSC%20Infraestructura%20de%20caminos\\_compressed.pdf](https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/note/files/4_PSC%20Infraestructura%20de%20caminos_compressed.pdf)
- Dhatrak, O., Vemuri, V., y Gao, L. (2020). Considering deterioration propagation in transportation infrastructure maintenance planning. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(4), 520-528. Recuperado el 10 de julio de 2022
- García, L. (2019). *Optimización multi-objetivo de un sistema de almacenamiento de datos en la multi-nube con un esquema de compartición de secretos basado en RRNS*. Ensenada, México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja

California. Recuperado el 5 de julio de 2022, de [https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3002/1/Tesis\\_Garc%C3%ADa%20Hern%C3%A1ndez%20\\_Luis%20Enrique\\_03\\_oct\\_2019.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3002/1/Tesis_Garc%C3%ADa%20Hern%C3%A1ndez%20_Luis%20Enrique_03_oct_2019.pdf)

Gendre, X. (2019). *Métodos MCMC para estadísticas*. La Habana. Recuperado el 5 de julio de 2022, de <https://www.math.univ-toulouse.fr/~xgendre/cuba/mcmcuba.pdf>

González, D., Melo, O., y Rodríguez, J. (2019). *Comportamiento de mezclas asfálticas con pavimento reciclado y aceite usado de motor como rejuvenecedor*. Ibagué: Universidad Cooperativa de Colombia. Recuperado el 5 de julio de 2022, de [http://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/8329/3/2019\\_Co mportamiento\\_Mezclas\\_Asfalticas.pdf](http://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/8329/3/2019_Co mportamiento_Mezclas_Asfalticas.pdf)

Hamdi, Hadiwardoyo, S., Gomes, A., y Pereira, P. (2017). Pavement maintenance optimization strategies for national road network in indonesia applying genetic algorithm. *Procedia engineering*, 210, 253-260. Recuperado el 7 de julio de 2022, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817360691>

Hernández, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. Recuperado el 8 de julio de 2022

Herrera, M. (2017). *Estudio ergonómico de las posturas forzadas y su relación con el nivel de educación de los trabajadores en la obra carretera Puente Chino - Aguaytía 2017*. Lima: Universidad Científica del Sur. Recuperado el 7 de julio de 2022, de <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1410/TM-Herrera%20M-Ext.pdf>

Hicks, R., Moulthrop, J., y Daleiden, J. (2000). Selecting a preventive maintenance treatment for flexible pavements. *Transportation research record*, 1680(1), 1-12.

- Huang, M., Dong, Q., Ni, F., y Wang, L. (2021). LCA and LCCA based Multi-objective Optimization of Pavement Maintenance. *Journal of Cleaner Production*, 283. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124583>
- Kamiche, J., y Diderot, J. (2018). Actualización de la tasa social de descuento de largo plazo. *Lima, Perú: Ministerio de Economía y Finanzas*.
- Macea, L., Morales, L., y Marquez, L. (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en via de desarrollo. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 17(2), 223-236. Recuperado el 10 de julio de 2022
- Marcobal, J., Diaz, R., Marquez, W., y Saldaña, D. (2017). *Evaluación de la rugosidad (IRI) en caminos pavimentados de geometría restringida: cálculo del IRI geométrico - Caso de aplicación*. Recuperado el 10 de julio de 2022, de [http://www.apsa.cl/wp-content/uploads/2018/03/cila\\_iri\\_caminos\\_geometria\\_restringida.pdf](http://www.apsa.cl/wp-content/uploads/2018/03/cila_iri_caminos_geometria_restringida.pdf)
- Martí, J., Gonzáles, F., y Yepes, V. (2017). *Análisis de sensibilidad de costes en el diseño de puentes*. Valencia, España: Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería. Recuperado el 7 de julio de 2022, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/180309/MartiGonzalezYepes%20-%20Cost%20sensitivity%20analysis%20in%20bridges%20design.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2008). Reglamento Nacional de Gestion de Infraestructura Vial. Perú: Direccion General de Caminos y Ferrocarriles - Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Recuperado el 10 de julio de 2022, de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/otras/DS%20N%C2%B0%20034-2008-MTC%20Reglamento%20Nacional%20de%20Gesti%C3%B3n%20Infraestructura%20Vial.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/DS%20N%C2%B0%20034-2008-MTC%20Reglamento%20Nacional%20de%20Gesti%C3%B3n%20Infraestructura%20Vial.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2018). *Manual de Carreteras Mantenimiento Conservación Vial*. Recuperado el 7 de julio

de 2022, de  
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_9%20MCV-2014\\_2016.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_9%20MCV-2014_2016.pdf)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (2018). *Manual de carreteras: diseño geométrico DG - 2018*. Recuperado el 5 de julio de 2022, de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf)

Naciones Unidas. (2021). *Gestión de Activos de Infraestructura para el Desarrollo Sostenible. Manual para Gobiernos Locales y Nacionales*. New York: Fondo de las Naciones Unidas para el Desarrollo del Capital. Recuperado el 7 de julio de 2022, de [https://www.un.org/development/desa/financing/sites/www.un.org.development.desa.financing/files/2021-04/IAMH\\_ESP\\_Apr2021.pdf](https://www.un.org/development/desa/financing/sites/www.un.org.development.desa.financing/files/2021-04/IAMH_ESP_Apr2021.pdf)

Neeson, T., Sleight, N., y Fleming, P. (2020). Opportunities for Collaboration between Infrastructure Agencies and Conservation Groups: Road-Stream Crossings in Oklahoma. En *2020 Southern Division-American Fisheries Society meeting*. AFS. Recuperado el 10 de julio de 2022

Neupane, S., y Gharaibeh, N. (2019). A heuristics-based method for obtaining road surface type information from mobile lidar for use in network-level infrastructure management. *Measurement*, 131, 664-670. Recuperado el 10 de julio de 2022

Osorio, A., Chamorro, A., Videla, C., Tighe, S., y Torres, C. (2018). Application of Markov chains and Monte Carlo simulations for developing pavement performance models for urban network management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14, 1169-1181. doi:<https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1402064>

PROVIAS NACIONAL. (2012). *Informe Final: Estudio definitivo de la carretera Puente Chino - Aguaytia, Sectores dañados*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. Recuperado el 10 de junio de 2021, de

<http://gis.proviasnac.gob.pe/Expedientes/2013/LP006-2013/dvd2/Volumen%20I%20Estudios%20Basicos%20ANEXO%20A.pdf>

Recycled Materials Resource Center - RMRC. (2020). *PaLATE*. Recuperado el 7 de julio de 2022, de <https://rmrc.wisc.edu/palate/>

Recycled Materials Resource Center. (2020). *paLATE*. Obtenido de <https://rmrc.wisc.edu/palate/>

Rojas, A. (2018). *Gestión de mantenimiento vial y su influencia en la satisfacción del usuario de la carretera Shapaja - Chazuta, 2018*. Tarapoto: Universidad César Vallejo. Recuperado el 10 de julio de 2022, de [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/26015/Rojas\\_PA.pdf](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/26015/Rojas_PA.pdf)

Santes, A. (2021). *Desarrollo de una herramienta para la gestión eficiente del mantenimiento de pavimentos urbanos mediante optimización multiobjetivo. Aplicación al distrito Quatre Carreres de la ciudad de Valencia*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 10 de julio de 2022, de <https://riunet.upv.es/handle/10251/163774>

Sedano, E., y Sedano, J. (2020). *Optimización metaheurística en el diseño de pavimentos rígidos*. Universidad Nacional de Huancavelica. Recuperado el 10 de julio de 2022, de <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/3453/TESIS-2020-ING.%20CIVIL-SEDANO%20ARECHE%20Y%20SEDANO%20SALAZAR.pdf>

Shi, Y., Xiang, Y., Xiao, H., y Xing, L. (2021). Joint Optimization of Budget Allocation and Maintenance Planning of Multi-facility Transportation Infrastructure Systems. *European Journal of Operational Research*, 288(2), 382-393. Recuperado el 7 de julio de 2022, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221720304963>

- Silvestre Miraya, I., y Huamán Nahula, C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria*. Lima: Editorial San Marcos de Aníbal Jesús Paredes Galván. Recuperado el 20 de octubre de 2022
- Stegmaier, R., González, V., y Viveros, P. (2018). *Gestión de activos en el sector ferroviario: manual de aplicaciones, indicadores y marco estratégico basado en la Norma ISO 55000*. Madrid: FC Editorial. Recuperado el 10 de julio de 2022
- Uguet, N., Zamora, J., Colás, M., y Lozano, L. (2019). *Microaglomerados en frío y lechadas bituminosas en autopistas, autovías y aeropuertos*. México: Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto México 2019. Recuperado el 5 de julio de 2022, de [http://ateb.es/pdf/Microaglomerados\\_en\\_frio\\_y\\_lechadas\\_bituminosas\\_en\\_autopista.pdf](http://ateb.es/pdf/Microaglomerados_en_frio_y_lechadas_bituminosas_en_autopista.pdf)
- Valdés, E., y Palacios, R. (2018). *Un enfoque multidisciplinar de la optimización*. Burgos: Editorial Universidad de Burgos. Recuperado el 12 de julio de 2022
- Yepes, V. (2019). *¿Por qué es tan difícil asignar recursos a la conservación de las carreteras?* Recuperado el 7 de julio de 2022, de <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/gestion-de-activos/>
- Yepes, V., Pellicer, E., Martí, J., y Kripka, M. (2020). *Diseño y mantenimiento óptimo robusto y basado en fiabilidad de puentes de alta eficiencia social y medioambiental bajo presupuestos restrictivos*. VIII Congreso de la Asociación Española de Ingeniería Estructural - SANTANDER. Recuperado el 7 de julio de 2022, de <https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2022/06/2940.pdf>
- Zhang, H., y Marsh, D. (2020). Multi-state deterioration prediction for infrastructure asset: Learning from uncertain data, knowledge and similar groups. *Information Sciences*, 529, 197-213. Recuperado el 10 de julio de 2022



## COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Espinoza Camayo, D. (2023). *Optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de infraestructura en la carretera puente chino-Aguaytía* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

## **ANEXOS**

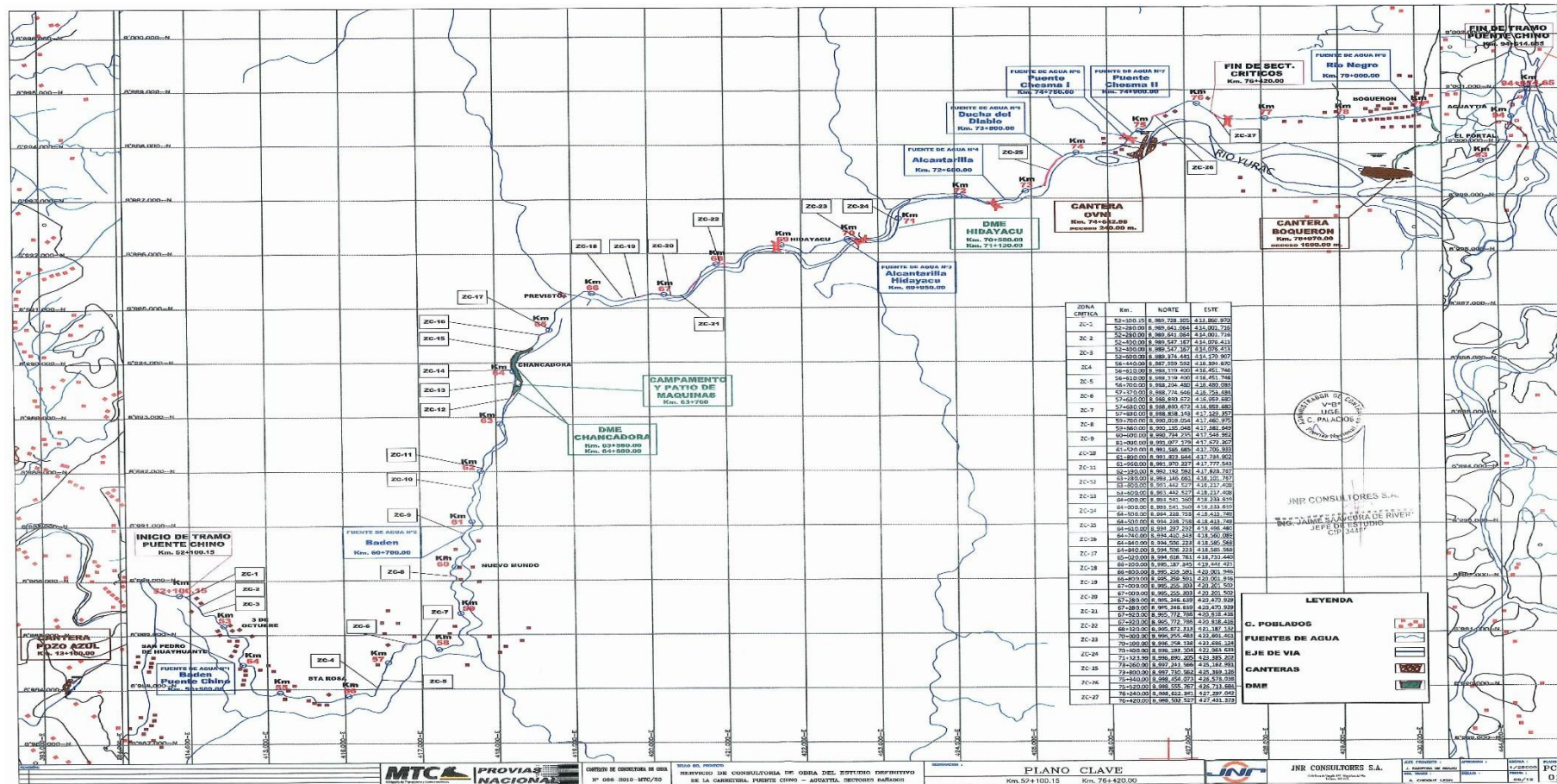
## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>METODOLOGIA</b>
¿De qué manera la herramienta de optimización heurística multiobjetivo permite asignar de manera sostenible y eficiente los recursos disponibles para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía?	Asignar de manera sostenible y eficiente los recursos disponibles para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía a través de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo.	La herramienta de optimización heurística multiobjetivo permite asignar de manera sostenible y eficiente los recursos disponibles para la gestión de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía.	<p><b><u>Tipo de investigación</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Enfoque: cuantitativo.</li> <li>- Alcance o nivel: Descriptivo - Longitudinal</li> <li>- Diseño de investigación: cuasi experimental</li> </ul> <p>Población y Muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-La población está conformada por 27 sectores críticos</li> <li>-Muestra censal</li> </ul>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· ¿Cuáles son los parámetros del problema de optimización de asignación de recursos para la conservación de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía?</li> <li>· ¿De qué manera se desarrollan los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental del problema de optimización de asignación de recursos para la conservación de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía?</li> <li>· ¿De qué manera se ejecuta el proceso de optimización de asignación de recursos a través de la herramienta heurística multiobjetivo?</li> </ul>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Determinar los parámetros del problema de optimización de asignación de recursos para la conservación de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía.</li> <li>· Desarrollar los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental del problema de optimización de asignación de recursos para la conservación de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía.</li> <li>· Ejecutar el proceso de optimización de asignación de recursos a través de la herramienta de optimización heurística multiobjetivo</li> </ul>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>H1: Los parámetros del problema de optimización de asignación de recursos son los adecuados para la conservación de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía</p> <p>H2: El desarrollo de los módulos de evaluación técnica, económica y ambiental del problema de optimización de asignación de recursos son los adecuados para la conservación de activos de infraestructura de transporte terrestre de la carretera Puente Chino-Aguaytía</p> <p>H3: La ejecución del proceso de optimización asigna adecuadamente los recursos a través de la herramienta heurística multiobjetivo.</p>	<p><b><u>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Técnica: Documental.</li> <li>- Instrumentos: Registro de datos</li> </ul> <p><b><u>Análisis e interpretación de los datos</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Parámetros de optimización del problema.</li> <li>- Proceso de Optimización del Programa de Mantenimiento</li> </ul> <p>Para el procesamiento de datos se utilizará Microsoft Excel y PaLATE</p>

## ANEXO 2

# PLANO DE UBICACIÓN DE LA VÍA INTERURBANA PUENTE CHINO-AGUAYTÍA



### ANEXO 03

### MODELO DE PROGRAMA DE CONSERVACIÓN BAJO ESCENARIO BASE

		Año de análisis																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
TRAMO	1																											
	2																											
	3																											
	4																											
	5																											
	6																											
	7																											
	8																											
	9																											
	10																											
	11																											
	12																											
	13																											
	14																											
	15																											
	16																											
	17																											
	18																											
	19																											
	20																											
	21																											
	22																											
	23																											
	24																											
	25																											
	26																											
	27																											

## ANEXO 4 EVIDENCIAS DE TRABAJO DE CAMPO









## ANEXO 5

### TEMPERATURAS

Estación: AGUAYTIA				
Departamento :	UCAYALI	Provincia :	PADRE ABAD	Distrito : PADRE ABAD
Latitud :	9°2'32.11"	Longitud :	75°30'22.46"	Altitud : 316 msnm.
Tipo :	CO - Meteorológica	Código :	108028	
AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIÓN (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
01/01/2021	24.8	22	96.7	26.3
02/01/2021	31.5	21.5	87	0
03/01/2021	32.5	22.8	85.4	45.8
04/01/2021	26.5	21	89.5	43.5
05/01/2021	26.6	20.5	94.5	23.6
06/01/2021	25.8	22	94.1	12
07/01/2021	29	22.2	94.2	16
08/01/2021	31.8	21.5	83.6	0
09/01/2021	32.2	22.5	84.2	0
10/01/2021	32	23	86.9	0
11/01/2021	32.5	23	87.2	0
12/01/2021	33.2	22.8	86.5	0
13/01/2021	30.5	23.6	87.1	21.5
14/01/2021	32	23	85.4	98.8
15/01/2021	29.2	22.8	85.5	9.2
16/01/2021	31.5	22.5	82.8	0
17/01/2021	32.5	23.2	84.1	64.7
18/01/2021	25.5	22	93.8	15.3
19/01/2021	29	21	92	24
20/01/2021	26.5	19.5	90.7	0
21/01/2021	30.8	20.5	86.8	0
22/01/2021	33	21.5	86.5	0
23/01/2021	26.5	22.5	91.7	2.5
24/01/2021	26	21.8	95.9	21.2
25/01/2021	29	22.5	90.2	2.5
26/01/2021	32	23	86.7	0
27/01/2021	30.2	21.5	86.9	5
28/01/2021	32.8	23	85.5	23.5
29/01/2021	29.8	22.8	86.3	50
30/01/2021	28.6	21	89.5	0
31/01/2021	30	21.5	87.9	0
01/02/2021	33	23	85	0
02/02/2021	32	23.5	86	2.8
03/02/2021	32.2	22	86.2	37.2

04/02/2021	27.6	21.6	88.7	16
05/02/2021	32	22.5	86.8	32.6
06/02/2021	29	21	85.2	0
07/02/2021	32.8	22	86.2	0
08/02/2021	32.4	23.5	86	58.2
09/02/2021	30.2	22.2	88.6	99.8
10/02/2021	27.8	22.5	93.1	60.2
11/02/2021	25	21	90.5	10
12/02/2021	27	20.8	94.1	5.6
13/02/2021	32.6	22	86.3	16.8
14/02/2021	33	23.5	86	2.5
15/02/2021	30	22.2	89.6	2.8
16/02/2021	31.6	23	86.3	5.5
17/02/2021	28.8	22.8	86.2	108.6
18/02/2021	27	21.5	91.5	3
19/02/2021	32.5	22	81.4	0
20/02/2021	31.6	22.8	82.5	0
21/02/2021	29	23	89.6	55.8
22/02/2021	31.2	22.5	87.1	0
23/02/2021	30.5	23.5	86.9	0
24/02/2021	32.2	24	85.7	7.8
25/02/2021	32.8	23.2	85.3	0
26/02/2021	33.2	22.2	85	0
27/02/2021	30.2	23	89.6	0
28/02/2021	33.5	22	86.7	0
01/03/2021	29.8	23.5	91.9	24.3
02/03/2021	31.8	21.5	85.2	0
03/03/2021	33	22.5	85.5	0
04/03/2021	32	23	86.6	0
05/03/2021	33.8	22.8	84.7	10.8
06/03/2021	28.5	22.5	91.6	0
07/03/2021	29.2	23.2	91.6	0
08/03/2021	32.5	22	85.4	12.2
09/03/2021	29	23	89.4	35.1
10/03/2021	32.5	21.8	89.1	0
11/03/2021	32.6	21	86	0
12/03/2021	33.2	22	88.7	0
13/03/2021	28	22.2	91.2	6
14/03/2021	30.6	22.8	88.8	24.5
15/03/2021	32.8	21.8	85.9	0
16/03/2021	27.6	22.5	92.4	2.5
17/03/2021	31.6	23	89.4	10
18/03/2021	31.5	23.2	87.9	18
19/03/2021	27	21	93.3	19.3
20/03/2021	26.2	22	90.8	12.7

21/03/2021	24.6	21.8	95.3	32.8
22/03/2021	31.5	20	82.7	0
23/03/2021	30.5	21	81.1	9.5
24/03/2021	27.5	22	92.1	13
25/03/2021	28.5	20.5	91.1	9.5
26/03/2021	32.8	22.5	85.5	0
27/03/2021	32.5	23	88.5	37.8
28/03/2021	33	23.5	86.8	0
29/03/2021	25	22.8	94.6	5.8
30/03/2021	30.5	21.8	87.9	46
31/03/2021	31	22	88.1	2.6
01/04/2021	30.8	21.5	82.5	0
02/04/2021	31.2	23	89	73.8
03/04/2021	26	22.5	96.7	46
04/04/2021	31	21	85.6	0
05/04/2021	28.6	22	86.5	18.5
06/04/2021	28.2	21.6	88.8	0
07/04/2021	32.2	21	84	0
08/04/2021	33.5	23.5	86.4	0
09/04/2021	28	22.5	89.4	21
10/04/2021	27.6	21.5	95.5	46.8
11/04/2021	31.2	21	88	0
12/04/2021	29.5	22.8	86.8	0
13/04/2021	31.8	23.5	83.6	0
14/04/2021	32.5	22	88	0
15/04/2021	31.8	23	81.6	33.5
16/04/2021	30.5	21.5	87	0
17/04/2021	31.5	22.5	89.5	4.8
18/04/2021	32	23	84.3	2.6
19/04/2021	31	23.5	82.1	14.8
20/04/2021	29.6	22.8	89	0
21/04/2021	32.2	22.2	88.1	2.8
22/04/2021	31	22	87.8	18
23/04/2021	29	23	86.6	0
24/04/2021	32	23.5	86	0
25/04/2021	31.6	22.6	88	50
26/04/2021	24	21.5	95.8	77
27/04/2021	24.8	20	92.3	2
28/04/2021	29.8	19	86.8	5.3
29/04/2021	28	21	89.1	0
30/04/2021	32.5	21.5	84.8	0
01/05/2021	32.8	20.5	82.8	0
02/05/2021	33.2	19.5	81.3	0
03/05/2021	33	21.5	81.1	0
04/05/2021	33.8	22	87.5	0

05/05/2021	31.5	23	87.9	2.5
06/05/2021	28.5	21.8	88.2	15.5
07/05/2021	27.5	20.5	91	8
08/05/2021	28.2	19.5	87.8	0
09/05/2021	30.6	21	85.7	0
10/05/2021	32	20	87.2	0
11/05/2021	33.5	21.8	87.6	0
12/05/2021	30.8	22	85.8	0
13/05/2021	31.2	22.5	85.7	0
14/05/2021	29	23	89.7	6.1
15/05/2021	30	21	90.2	2
16/05/2021	32.5	22.5	85.4	0
17/05/2021	32	23.2	85.1	0
18/05/2021	33.2	23	84.3	0
19/05/2021	33.8	22.5	87.5	0
20/05/2021	32.2	23.4	86.3	31
21/05/2021	31	22.8	84.6	5.2
22/05/2021	31.5	23.6	86.4	0
23/05/2021	30	21	87.3	25.8
24/05/2021	28	22.5	90.8	36.4
25/05/2021	29	20	87.1	0
26/05/2021	31	20.8	87	0
27/05/2021	32.5	21	85.4	0
28/05/2021	33.2	22	82.9	0
29/05/2021	33.8	23.5	86.8	53
30/05/2021	34	23.2	87	49.5
31/05/2021	27	22	89.8	0
01/06/2021	33	21.5	87.3	0
02/06/2021	31	23	87.2	26
03/06/2021	28.5	21	89.6	3.5
04/06/2021	26.5	20	94.6	2.5
05/06/2021	33	22	79.7	40.3
06/06/2021	32.8	21.2	86.2	39.3
07/06/2021	31.2	22.5	85.1	5.7
08/06/2021	32.5	21	86.4	64.5
09/06/2021	31.5	22.2	86.2	4.8
10/06/2021	32	21.8	82.7	12.6
11/06/2021	31.6	22	83.6	56
12/06/2021	26.8	21.8	91.7	9.2
13/06/2021	32.5	20	87.4	0
14/06/2021	30.2	21.4	85.7	0
15/06/2021	31.5	23.5	82.8	0
16/06/2021	32.2	21.5	86.6	3.5
17/06/2021	31.8	22	83.7	0
18/06/2021	31.5	20.5	81.8	0

19/06/2021	27	21	94.1	38.2
20/06/2021	31	22	85.7	0
21/06/2021	26.5	21.5	91.7	0
22/06/2021	31	20.8	88	0
23/06/2021	30.6	21.6	83.7	0
24/06/2021	31.5	22	85.7	0
25/06/2021	32.6	21.5	86.8	0
26/06/2021	33	22.6	83	4.5
27/06/2021	32	23	86	57.9
28/06/2021	30.8	20.5	88.8	24.5
29/06/2021	24	20	90.3	9.5
30/06/2021	25.8	16.5	93.7	0
01/07/2021	30.2	15.5	84.4	0
02/07/2021	28	19	95.5	0
03/07/2021	31.2	20	88.3	0
04/07/2021	31.5	19.8	87.1	0
05/07/2021	32	20.8	83.4	0
06/07/2021	33	19	85.8	0
07/07/2021	32.5	20	85.7	0
08/07/2021	31.6	21	84.8	0
09/07/2021	31	20.8	85.9	0
10/07/2021	32.2	21.6	85.1	0
11/07/2021	33.5	22	86.2	23
12/07/2021	30	21.5	86.9	15.8
13/07/2021	31.5	23	83.9	0
14/07/2021	32.5	22.5	85.4	0
15/07/2021	33	23.5	87.1	0
16/07/2021	31.8	23	89.3	0
17/07/2021	32.6	22.8	90	24.2
18/07/2021	31.6	21.5	87.5	44.3
19/07/2021	25.5	21	94	2.8
20/07/2021	26	20	91.8	0
21/07/2021	30.8	19	88.2	0
22/07/2021	31.5	19.5	89.2	0
23/07/2021	32.2	21.5	87.2	0
24/07/2021	33.2	21	88.4	0
25/07/2021	33.2	22.5	88.2	0
26/07/2021	33	21.6	82.7	0
27/07/2021	32.8	22.5	86.1	8.6
28/07/2021	32	21	85.2	19
29/07/2021	25.5	17.5	93	0
30/07/2021	26	18	93.1	0
31/07/2021	30.2	18.4	87.8	0
01/08/2021	32.5	19.5	82	0
02/08/2021	32.2	22	87.4	5.8

03/08/2021	32.8	19.8	88.4	0
04/08/2021	33	18.5	86.1	0
05/08/2021	32.5	20	88.6	0
06/08/2021	33	20.5	88.5	0
07/08/2021	33.2	19.5	87.5	0
08/08/2021	33.5	21	89.3	0
09/08/2021	34	22	90.7	0
10/08/2021	33.2	22.5	85.6	0
11/08/2021	31.5	21.8	85.2	0
12/08/2021	31.8	22.2	87.5	26
13/08/2021	29.6	22.6	88.1	0
14/08/2021	31.5	21.8	86	0
15/08/2021	32.2	22.5	86.5	0
16/08/2021	33.5	23	85.7	0
17/08/2021	33.8	23.2	88.5	1.5
18/08/2021	34.2	22.4	87.5	0
19/08/2021	33.5	23	91.7	0
20/08/2021	33.2	22.8	85.2	0
21/08/2021	26	22.5	95.3	3.5
22/08/2021	33.5	18	85.4	0
23/08/2021	34	21.5	86.5	0
24/08/2021	33.8	23	85.9	0
25/08/2021	31.8	24.5	88.1	0
26/08/2021	35.2	22.6	87.8	0
27/08/2021	34.8	23.8	88.9	0
28/08/2021	25.8	23.5	94.7	8.1
29/08/2021	29	21.5	91.5	5.8
30/08/2021	28.8	22.8	86.6	2.6
31/08/2021	31.8	19.5	85.2	0
01/09/2021	33	20.5	85.4	0
02/09/2021	35	21.5	85.8	0
03/09/2021	35.2	23	87.9	0
04/09/2021	35.6	S/D	S/D	0
05/09/2021	35.5	24	88.7	0
06/09/2021	26.8	23.8	94.7	3.5
07/09/2021	32.8	20.5	86.5	0
08/09/2021	33.2	21	85.6	3.6
09/09/2021	34.8	22.5	85.8	78
10/09/2021	23.8	20	95.8	50.8
11/09/2021	26.5	21	91.4	0
12/09/2021	33.8	20	85.5	7
13/09/2021	33	21.5	85.6	0
14/09/2021	34	22.5	87.9	0
15/09/2021	34.5	23.5	88	2.5
16/09/2021	24.5	22	95.3	0

17/09/2021	33.2	21.8	86.1	0
18/09/2021	32.8	23	88.3	0
19/09/2021	34	22.8	87.7	0
20/09/2021	34.5	22	87.6	0
21/09/2021	35	23	87.8	3.2
22/09/2021	28.8	22.5	86.7	0
23/09/2021	30	21	86.8	0
24/09/2021	30.2	23.5	87.1	0
25/09/2021	31.5	22.6	88	0
26/09/2021	34.5	23	88.1	0
27/09/2021	33.8	22.8	88.7	0
28/09/2021	35	24	88.6	0
29/09/2021	34.8	23.8	89	4.8
30/09/2021	31.5	22	85.1	0
01/10/2021	33.5	21.5	85.4	0
02/10/2021	35	23	90.2	8.5
03/10/2021	34.8	22.5	85.8	23.8
04/10/2021	33.6	21.5	85.6	0
05/10/2021	25	22.8	96.4	12.8
06/10/2021	28	21	95.8	0
07/10/2021	31.5	23	85.8	0
08/10/2021	33	22.2	86.2	7.5
09/10/2021	30.5	21	84.5	36.6
10/10/2021	34	23.2	88.3	0
11/10/2021	35	23.5	87.1	26
12/10/2021	35.8	21.5	86	0
13/10/2021	35.6	24	86.5	0
14/10/2021	34.5	24.5	86.6	63.5
15/10/2021	34.8	21.5	86.3	28.5
16/10/2021	32	22	91.3	46.6
17/10/2021	26	21	94.8	4.5
18/10/2021	30	22	85.5	22.5
19/10/2021	29.8	23.5	93.3	21.5
20/10/2021	29.5	22.8	91.9	0
21/10/2021	33	21.8	88.2	0
22/10/2021	33.8	24	86.3	2.8
23/10/2021	34.2	23.5	85.9	0
24/10/2021	35.5	24.5	86.5	0
25/10/2021	25	22.8	95.9	99.8
26/10/2021	32	20.5	85.1	0
27/10/2021	33	21.5	85.4	0
28/10/2021	32	22.5	82.5	0
29/10/2021	30	24	87.7	21.5
30/10/2021	33.5	23.5	85.6	0
31/10/2021	34.8	22	86.6	0

01/11/2021	35	23.8	85.7	0
02/11/2021	34.2	22.5	87.3	26.2
03/11/2021	25.6	23	95.4	72.5
04/11/2021	30	20.5	88.9	0
05/11/2021	29.5	21	88.8	0
06/11/2021	32.5	22	86.2	0
07/11/2021	33.5	23	84.3	5.3
08/11/2021	30.5	22.5	89	71
09/11/2021	25.5	22.8	95.7	8
10/11/2021	30.2	21	87	2.8
11/11/2021	28	22.5	88.2	2.6
12/11/2021	30.5	23.5	87	71.2
13/11/2021	31.2	21	87.1	2.7
14/11/2021	32.5	22.5	87.4	0
15/11/2021	33.6	23.5	87.6	18.8
16/11/2021	25.5	22.8	95.4	9
17/11/2021	29.8	21	87.6	4.6
18/11/2021	25	21.2	96.7	10
19/11/2021	30	22	91	55.5
20/11/2021	26	21	97.5	0
21/11/2021	30.2	21.2	88.1	0
22/11/2021	33.2	22	86.2	0
23/11/2021	30.6	23	88.4	22.3
24/11/2021	24.6	23.2	95.9	57
25/11/2021	32.8	21.5	86.6	0
26/11/2021	32.5	22.5	87.9	73.9
27/11/2021	30	22	87.9	40.2
28/11/2021	30.2	23	86.3	82.1
29/11/2021	31	21.5	86.9	37.3
30/11/2021	32	22.5	87.2	0
01/12/2021	30.8	23	87.7	94.6
02/12/2021	30.5	21.8	88.8	18.2
03/12/2021	29.8	22.2	83	23.5
04/12/2021	31.5	22	90	14.6
05/12/2021	28.6	23	89.7	32.5
06/12/2021	26.5	22	95.5	17.8
07/12/2021	30.8	21.6	87.8	0
08/12/2021	33	23	86	0
09/12/2021	29	24	89.7	2.8
10/12/2021	28	24.2	94	0
11/12/2021	30.8	22	87	0
12/12/2021	31.2	23.5	88	49.2
13/12/2021	31	22.8	91.2	27.4
14/12/2021	29	21	92.4	30
15/12/2021	30.2	22.5	88.3	8



16/12/2021	31.5	23	85.8	36
17/12/2021	27	21.5	88.4	26.5
18/12/2021	33.8	22.8	83.7	2.3
19/12/2021	34	23	88.5	0
20/12/2021	25	23.2	96.5	4.8
21/12/2021	32	22	86.1	2.5
22/12/2021	26	24	97.3	40.8
23/12/2021	31.8	21.5	87.2	25.5
24/12/2021	30	22.5	89	0
25/12/2021	33	23.5	88.3	3.5
26/12/2021	32.5	23	86.5	8
27/12/2021	32	22.8	85.3	71.6
28/12/2021	28.8	22	93.2	15.5
29/12/2021	32	23.5	86.5	0
30/12/2021	33.8	24	86.4	0
31/12/2021	33	23.6	87.6	0

Fuente: SENAMHI

## ANEXO 5

