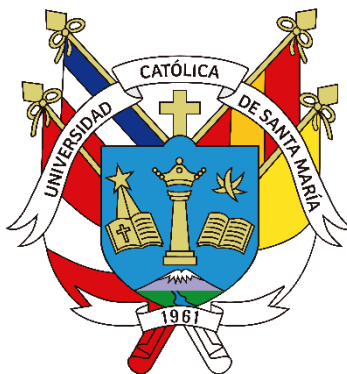


Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Rumbo a la implementación de herramientas innovadoras en sistemas de
infraestructura bajo un enfoque sostenible**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Juarez Quispe, Julio Cesar

ORCID: 0009-0008-7682-1469

Rojas Chura, Erick Andre

ORCID: 0009-0009-3483-2191

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor (a):

Mg. Espinoza Vigil, Alain Jorge

ORCID: 0000-0003-2012-2462

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 27 de Diciembre del 2024

Dictamen: 011451-C-EPIC-2024

Visto el borrador del expediente 011451, presentado por:

2019244041 - JUAREZ QUISPE JULIO CESAR

2019816101 - ROJAS CHURA ERICK ANDRE

Titulado:

**RUMBO A LA IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS INNOVADORAS EN SISTEMAS DE
INFRAESTRUCTURA BAJO UN ENFOQUE SOSTENIBLE**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

**29688899 - HIDALGO VALDIVIA ALEJANDRO VICTOR
DICTAMINADOR**



**29238311 - GUILLEN MALAGA MILAGROS SOCORRO
DICTAMINADOR**



**29329377 - NEIRA ARENAS JULY LILIAM
DICTAMINADOR**



Rumbo a la implementación de herramientas innovadoras en sistemas de infraestructura bajo un enfoque sostenible

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	3%
2	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	www.cenac.ipn.mx Fuente de Internet	<1%
6	docslide.us Fuente de Internet	<1%
7	pesquisa.bvsalud.org Fuente de Internet	<1%
8	www.chiclayoenlinea.com Fuente de Internet	<1%

Dedicatoria

Reconociendo en nuestras familias el pilar esencial de este magno esfuerzo, dedicamos esta investigación a su apoyo incondicional, el cual permitió alcanzar una relevancia mayor y más trascendente de lo que habíamos imaginado.

Ofrendamos estas páginas como testimonio de su fé en nosotros, pues su constancia iluminó cada paso y reforzó nuestra determinación, haciéndonos perseverar en los momentos más desafiantes del proceso académico.

Sin su aliento constante y cariño inquebrantable, habría sido inviable mantener la motivación, pues su respaldo nos impulsó a persistir, superando así cada obstáculo que amenazó con socavar la confianza en nuestras capacidades.

Mantener la firmeza en este proyecto se logró gracias a su paciencia y ejemplo cotidiano, que nos brindaron la serenidad para encarar adversidades, permitiéndonos descubrir nuevas fortalezas y creer en la valía de nuestras aspiraciones.

En cada línea de esta investigación se vislumbra su respaldo incesante, porque su comprensión y sus consejos oportunos nos llevaron a reforzar vínculos, cultivar perseverancia y sostener la fe que hoy se cristaliza en forma de logro colectivo.

Llevamos presente cada consejo que compartieron, pues su visión sabia y afectuosa alentó nuestra confianza, guiándonos a enfrentar retos con determinación y a entender que todo esfuerzo hallaría justa recompensa en la culminación de este proyecto.

Y finalmente, con sincero afecto, compartimos este éxito como un tributo a su constante dedicación, recordando que cada paso dado se vio sostenido por la fuerza de su amor y la esperanza que depositaron en nuestros sueños.

Agradecimiento

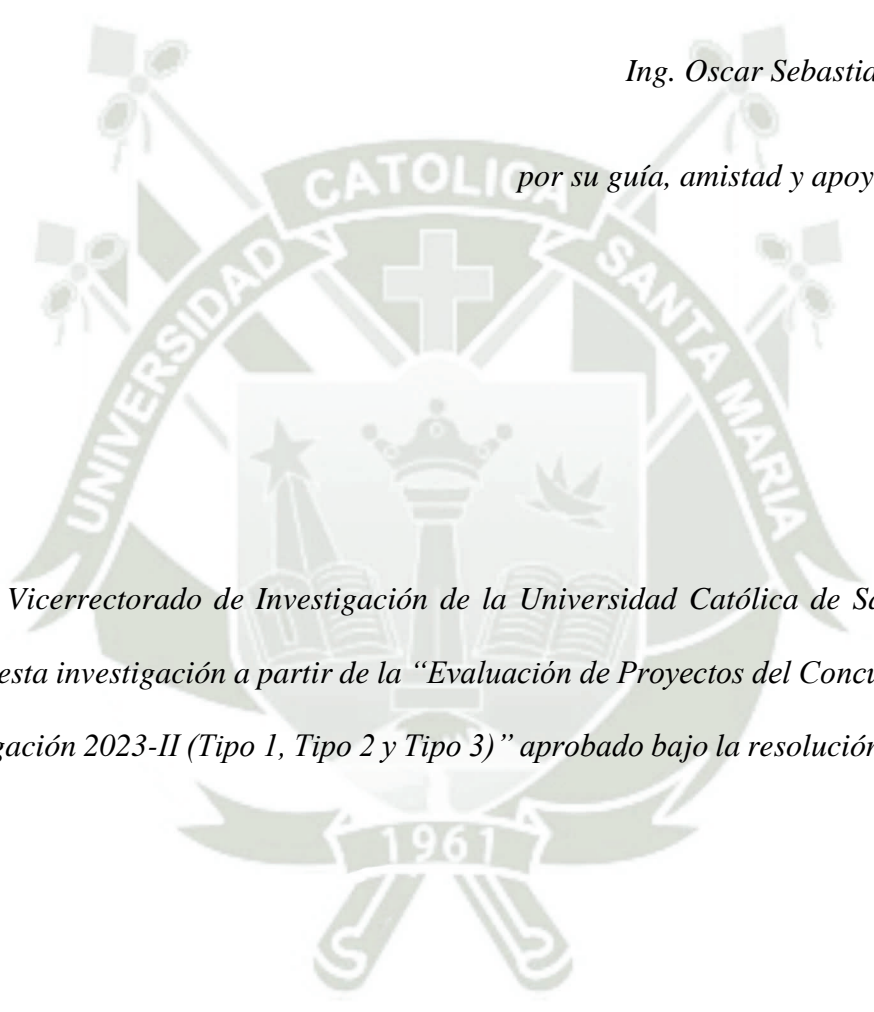
Los autores agradecen a:

Ing. MSc. Alain Jorge Espinoza Vigil

Ing. Milagros Socorro Guillén Málaga

Ing. Oscar Sebastian Yabar Ardiles

por su guía, amistad y apoyo incondicional.



Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María, por financiar esta investigación a partir de la “Evaluación de Proyectos del Concurso Fondo para la Investigación 2023-II (Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3)” aprobado bajo la resolución 30248-R-2024.

RESUMEN

El rápido crecimiento de la infraestructura en los países en desarrollo ha intensificado los desafíos ambientales debido a las prácticas que priorizan los costos sobre la sostenibilidad. Este estudio evalúa 21 herramientas identificadas como impulsoras de la sostenibilidad para mejorar la gestión de la infraestructura a lo largo de su ciclo de vida, interactuando con 20 de 36 variables clave de gestión de sistemas de infraestructura (VGSI). Utilizando un enfoque de pensamiento sistémico, se desarrolla un Modelo Dinámico Sostenible de Sistemas (MDSS), que comprende un núcleo que representa las etapas interconectadas del ciclo de vida: planificación y diseño (S1), adquisición (S2), construcción (S3), operación y mantenimiento (S4), y renovación y disposición (S5). El modelo incorpora un total de 12 bucles de equilibrio (B) y 25 bucles de refuerzo (R), lo que permite visualizar las interdependencias críticas que influyen en la sostenibilidad del sistema. Además, su análisis muestra las interdependencias entre variables y etapas, demostrando, por ejemplo, cómo la implementación de herramientas como LCA, BIM y los principios de Economía Circular en S1, o IoT y SHM en S4, mejora significativamente la sostenibilidad. Se identifica una brecha entre la teoría y la práctica en la adopción de prácticas sostenibles, que se ve agravada por la falta de conocimiento en el contexto específico de los países en desarrollo. Por lo tanto, este estudio contribuye a cerrar esa brecha ofreciendo un modelo que facilita la comprensión de las interacciones clave en los sistemas de infraestructura.

Palabras claves:

infraestructura sostenible; sistemas de infraestructura sostenible; dinámica de sistemas; pensamiento sistémico; sistemas de infraestructura; gestión de sistemas de infraestructura; gestión de infraestructura

ABSTRACT

Rapid infrastructure growth in developing countries has intensified environmental challenges due to cost-prioritizing practices over sustainability. This study evaluates 21 identified sustainable-driving tools to improve the management of infrastructure throughout its life cycle, by interacting with 20 out of 36 key infrastructure system management variables (ISMVs). Using a systems thinking approach, a Sustainable Systems Dynamic Model (SSDM) is developed, comprising a nucleus representing the interconnected stages of the life cycle: planning and design (S1), procurement (S2), construction (S3), operation and maintenance (S4), and renewal and disposal (S5). The model incorporates a total of 12 balance (B) and 25 reinforcement (R) loops, enabling the visualization of critical interdependencies that influence the sustainability of the system. In addition, its analysis shows the interdependencies between variables and stages, demonstrating, for example, how the implementation of tools such as LCA, BIM, and Circular Economy principles in S1, or IoT and SHM in S4, significantly improve sustainability. A gap between theory and practice in the adoption of sustainable practices is identified, which is aggravated by the lack of knowledge in specific developing countries' context. Hence, this study contributes to its closure by offering a model that facilitates the understanding of key interactions in infrastructure systems.

Key words:

Sustainable infrastructure; sustainable infrastructure systems; system dynamics; systems thinking; infrastructure systems; infrastructure systems management; infrastructure management.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN..... 1

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO 4

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 4

JUSTIFICACIÓN 6

OBJETIVOS 9

Objetivo General 9

Objetivos Específicos 9

HIPÓTESIS 9

Hipótesis General 9

Hipótesis Específicas..... 9

VARIABLES..... 10

Variables Independientes 10

Variables Dependientes 10

CUADRO DE CONSISTENCIA 10

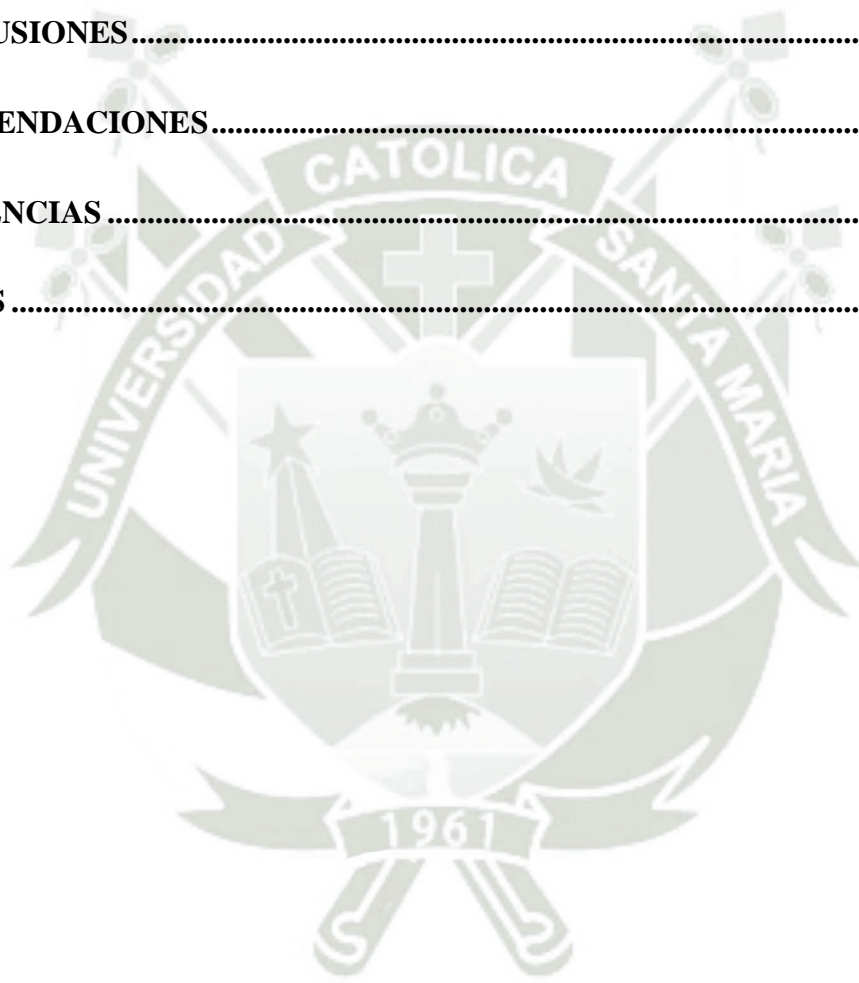
ALCANCES..... 12

LIMITACIONES 13

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO 15

MARCO TEÓRICO	15
Gestión de sistemas de infraestructura	15
System Thinking	16
ESTADO DEL ARTE	17
MARCO LEGAL	17
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	19
MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	19
Revisión bibliográfica	19
Selección de variables	19
Desarrollo de modelo dinámico de sistemas sostenibles	19
Análisis sistemático del modelo	20
TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	20
DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	21
ESQUEMA METODOLÓGICO	21
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
REVISIÓN BIBLIOGRAFICA DE HERRAMIENTAS SOSTENIBLES	23
ESTABLECIENDO VARIABLES	27
Variables del Ciclo de Vida de un Sistema de Infraestructura.....	27
Variables del Ciclo de Vida de un Sistema de Infraestructura.....	28
DESARROLLO DEL MODELO DINAMICO DE SISTEMAS SOSTENIBLES (MDSS)	34
ANALISIS DEL MODELO DINAMICO Y PROPUESTA DE OPTIMIZACION	36

Núcleo del modelo	36
Herramientas clave.....	38
Bucles de refuerzo.....	39
Puntos de apalancamiento	40
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIAS	45
ANEXOS	53



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categorías de Justificación.	8
Tabla 2: Cuadro de consistencia	11
Tabla 3: Operacionalización de variables	11
Tabla 4: Normas/Reglamentos respecto a sostenibilidad en el Perú.....	18
Tabla 5: Herramientas de conducción sostenible, fuentes y relevancia.....	23
Tabla 6: Etapas del ciclo de vida de un sistema de infraestructura.....	28
Tabla 7: Variables y su relación causal en los sistemas de infraestructura sostenible.....	29
Tabla 8: Bucles de refuerzo y balance del Modelo Dinámico de Sistema Sostenible	57
Tabla 9: Cuadro causal – Primeras variables N°01.....	79
Tabla 10: Cuadro causal – Primeras variables N°02.....	80
Tabla 11: Cuadro causal – Primeras variables N°03.....	81
Tabla 12: Cuadro causal – Continuación de variables N°01.....	82
Tabla 13: Cuadro causal – Continuación de variables N°02.....	83
Tabla 14: Cuadro causal – Continuación de variables N°03.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema metodológico.	22
Figura 2: Modelo de Dinámica de Sistemas Sostenible (MDSS).	35
Figura 3: Planificación y diseño – Uses Tree	75
Figura 4: Planificación y diseño – Causal Tree	75
Figura 5: Adquisiciones – Uses Tree	75
Figura 6: Adquisiciones – Causal Tree	76
Figura 7: Construcción – Uses Tree.....	76
Figura 8: Construcción – Causal Tree	76
Figura 9: Operación y mantenimiento – Uses Tree	76
Figura 10: Operación y mantenimiento – Uses Tree	77
Figura 11: Renovación y disposición – Uses Tree.....	77
Figura 12: Renovación y disposición – Causal Tree	77

INTRODUCCIÓN

La infraestructura es un factor crucial para el desarrollo de los países, ya que su correcta planificación y gestión no solo fomentan el crecimiento económico, sino que también mejoran la calidad de vida de las personas (Serebrisky et al., 2020). No obstante, el sector de la construcción, que es responsable de un elevado consumo energético y de importantes emisiones de CO₂, se ha identificado como una industria que requiere reformas urgentes para reducir su impacto ambiental (Lee et al., 2023). Esta situación pone de manifiesto los efectos negativos que la construcción tiene sobre el medio ambiente, aunque también presenta una oportunidad para implementar medidas que contrarresten dicho impacto.

Entre 2010 y 2022, las emisiones de CO₂ a nivel mundial aumentaron un 41.6%, y de este incremento, el 15% fue causado por la infraestructura. Específicamente, el sector de la infraestructura vio un aumento del 37.1% en sus emisiones (IEA, 2021). Aparte de la creciente demanda de energía, materiales como el cemento tienen un impacto ambiental significativo, representando el 8% de las emisiones globales de CO₂ en 2022 (Scrivener; et al., 2023).

No es sorprendente que la construcción sea un actor clave en la crisis ambiental actual, dado que, a principios de 2022, el sector representaba el 30% de la demanda global de energía (UNEP, 2023). Este problema refleja cómo los enfoques tradicionales de construcción priorizan factores como los costos, la calidad y los plazos, sin considerar adecuadamente los impactos ambientales (Xu et al., 2019), lo que dificulta la implementación de prácticas sostenibles y el cumplimiento de estándares ambientales.

De manera similar, el rápido proceso de urbanización y la creciente necesidad de infraestructura a gran escala son particularmente evidentes en los países en desarrollo. Como señalan Zubair et al. (2024), los principales retos para el sector en estos países son satisfacer la demanda creciente de proyectos de infraestructura y vivienda de manera responsable tanto social como ambientalmente. Las ciudades emergentes, que se enfrentan a riesgos importantes debido al cambio climático (Wang & Chi, 2016), a menudo se ven afectadas por un desajuste entre el rendimiento social y ambiental, causado por la prevalencia de métodos tradicionales y los intereses económicos (Shen et al., 2010). Sin embargo, estos proyectos presentan un gran potencial para incorporar estrategias sostenibles que, al mitigar los efectos contaminantes, pueden también optimizar los aspectos sociales y económicos.

Ante los desafíos crecientes en el desarrollo de infraestructura, es crucial adoptar enfoques sostenibles que no solo busquen reducir las emisiones de CO₂, sino que también aseguren la viabilidad y sostenibilidad a lo largo de todo el ciclo de vida de los proyectos, desde la planificación hasta la operación, el mantenimiento y la eventual demolición. Aunque los proyectos de infraestructura suelen tener largos ciclos de vida y un alto impacto ambiental, es posible integrar herramientas sostenibles en todas las fases del proyecto, lo que favorece resultados más positivos en términos de sostenibilidad (Janjua et al., 2019). Sin embargo, estas herramientas resultan más efectivas cuando se incorporan desde las primeras etapas de planificación y diseño (Robichaud & Anantatmula, 2011; Röck et al., 2018).

Entre estas herramientas se incluyen la gestión de materiales alternativos con menor impacto ambiental, la adopción de tecnologías y metodologías que promuevan la eficiencia energética, el uso eficiente del agua, así como estrategias de reciclaje y manejo de residuos durante la vida útil de la infraestructura. No obstante, la principal barrera para la implementación de estas herramientas en los países en desarrollo es la falta de conocimiento

de los actores involucrados y la ausencia de evidencia sólida que demuestre su efectividad en contextos específicos. Esta brecha de conocimiento sobre casos de éxito comprobados limita significativamente la adopción generalizada de estas prácticas (Darko et al., 2017).

Para abordar este problema, la presente investigación se basa en una revisión exhaustiva de la literatura, con el objetivo de identificar las herramientas más reconocidas y aplicadas internacionalmente que puedan apoyar las variables relevantes, descritas por Espinoza Vigil and Carhart (2024), que abarcan el ciclo de vida de la infraestructura y sus impactos. Las herramientas identificadas, junto con sus efectos asociados, se consolidaron en variables clave para desarrollar un Modelo de Dinámica de Sistemas centrado en el ciclo de vida de la infraestructura. Este modelo permite evaluar y analizar las interacciones entre las variables en cada etapa del ciclo de vida, sirviendo como base para identificar áreas de mejora y proporcionar recomendaciones prácticas para su implementación efectiva.

La innovación de este estudio radica en su enfoque sistémico, que integra diversas variables del ciclo de vida para ofrecer una visión holística de las interacciones y dependencias entre los componentes del sistema. Este enfoque mejora la comprensión de los mecanismos de causa-efecto y retroalimentación que influyen en el rendimiento de la infraestructura. Además, este marco proporciona valiosas orientaciones tanto para investigadores como para profesionales interesados en implementar herramientas sostenibles de manera efectiva en las distintas etapas del ciclo de vida. Finalmente, se pone énfasis en optimizar la eficiencia, reducir los impactos ambientales y mejorar la gestión de los sistemas de infraestructura.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO

TEÓRICO

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Problemática

En el panorama global, la industria de la construcción se erige como un pilar fundamental del desarrollo económico, con un crecimiento constante que se traduce en la proyección de 230 mil millones de metros cuadrados de nuevas infraestructuras en las próximas cuatro décadas (Fernández et al., 2019). Este crecimiento, aunque positivo desde una perspectiva económica, revela un trasfondo alarmante de impactos ambientales y retos sociales que comprometen la sostenibilidad del sector.

Estudios como el del Dixon (2010) destacan que las actividades constructivas contribuyen significativamente a la degradación ambiental: son responsables del 23% de la contaminación atmosférica, del 40% de la contaminación del agua potable y del 50% de los desechos depositados en vertederos. Estas cifras subrayan una problemática globalmente extendida: los proyectos de construcción tradicionales tienden a priorizar costo, calidad y cronograma, dejando de lado consideraciones ambientales esenciales. Como resultado, las emisiones de gases de efecto invernadero se han intensificado, exacerbadas por la falta de conciencia y educación sobre los beneficios de herramientas sostenibles, tal como indica Xu et al. (2019). Este déficit de información y compromiso por adoptar enfoques más responsables representa un desafío a nivel mundial, identificado por diversos investigadores.

En el contexto peruano, el crecimiento económico ha dinamizado el sector de la construcción, pero a menudo a expensas de una adecuada integración de factores sociales y

ambientales. A pesar de que las tecnologías y procedimientos actuales cumplen con los estándares de producción, el impacto en las comunidades y el entorno sigue siendo una preocupación subestimada. Montoya Bardalez (2014) señala que este modelo de desarrollo se ha implementado sin un análisis exhaustivo de las implicancias socioambientales, perpetuando una brecha entre el crecimiento económico y la sostenibilidad. En la misma línea, Neira et al. (2013) evidencian que, en Perú, pocas organizaciones del sector están comprometidas con la sistematización y difusión de herramientas sostenibles. Esto limita la adopción generalizada de alternativas tecnológicas coherentes con los principios de sostenibilidad, dejando al país rezagado en la transición hacia un desarrollo más responsable.

Arequipa, una de las principales ciudades del Perú, refleja esta problemática de manera crítica. Su configuración geográfica, en forma de hoya, favorece la acumulación de contaminantes atmosféricos, situándola entre las ciudades más contaminadas del país, según Enriquez (2023). Esta realidad no solo constituye un desafío ambiental, sino que también tiene repercusiones directas en la calidad de vida de sus habitantes, exacerbando problemas de salud pública y deteriorando las condiciones de vida. La situación de Arequipa ejemplifica cómo la falta de planificación ambiental en las ciudades puede amplificar los efectos negativos de la actividad constructiva, convirtiéndose en un llamado urgente a la acción para promover herramientas sostenibles en todo el ciclo de vida de los proyectos de infraestructura.

Problema General

¿Cómo reducir los impactos ambientales y sociales negativos de la industria de la construcción mediante la adopción de herramientas sostenibles?

Problemas Específicos

- ¿Qué herramientas son efectivas para reducir la contaminación ambiental en áreas urbanas desarrolladas?
- ¿Cómo integrar consideraciones ambientales esenciales desde el inicio de los proyectos de infraestructura?
- ¿Cuáles son los desafíos que enfrenta la construcción en países en desarrollo, en relación con la implementación de herramientas sostenibles?

JUSTIFICACIÓN

La ingeniería civil es fundamental para el desarrollo social, ya que contribuye significativamente a mejorar la calidad de vida mediante la construcción de infraestructuras que facilitan el acceso a servicios básicos y mejoran la conectividad de las ciudades. Sin embargo, en la actualidad, la expansión de la industria de la construcción no siempre tiene en cuenta el impacto ambiental asociado, lo que ha generado una creciente preocupación sobre su sostenibilidad. La construcción es responsable de un porcentaje considerable de las emisiones globales de carbono, entre el 30% y el 50% (L. Chen et al., 2023), lo que contribuye al deterioro del medio ambiente a nivel global. Por ello, la integración de herramientas sostenibles se presenta como una necesidad urgente, no solo para mitigar los efectos negativos sobre el entorno, sino también para asegurar que las infraestructuras construidas hoy no comprometan la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

En el marco global, se han implementado iniciativas como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que impulsan el sector de la construcción hacia modelos más responsables y respetuosos con el medio ambiente. Estas acciones buscan reducir el consumo

de recursos, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover el uso de herramientas más limpias y eficientes. Sin embargo, el camino hacia la sostenibilidad enfrenta un desafío significativo, especialmente en contextos como el de Perú, donde la adopción de herramientas sostenibles sigue siendo limitada. A pesar de los avances tecnológicos en la industria de la construcción, el sector en el país carece de una sistematización adecuada de las herramientas sostenibles y de la divulgación de sus beneficios, lo que frena su implementación generalizada.

En ciudades como Arequipa, este reto se vuelve aún más relevante. La ciudad, con un crecimiento urbano acelerado, enfrenta serios problemas de contaminación, debido a su configuración geográfica y el rápido desarrollo de infraestructuras sin una planificación ambiental adecuada. Esta situación subraya la necesidad de integrar herramientas sostenibles que no solo mejoren la calidad del entorno urbano, sino que también contribuyan a la reducción de la contaminación y mejoren la calidad de vida de los habitantes. Sin embargo, en Arequipa aún existe una notable carencia de información detallada sobre las herramientas actuales en la construcción y su relación con la sostenibilidad. Esta falta de conocimiento y documentación precisa limita la capacidad del sector para adoptar enfoques más sostenibles, lo que hace urgente la necesidad de realizar investigaciones que proporcionen datos específicos y permitan diseñar estrategias de mejora en la construcción sostenible de la ciudad.

Por lo tanto, esta investigación busca llenar ese vacío de conocimiento, analizar las herramientas sostenibles mayormente utilizadas a nivel internacional. El objetivo es identificar oportunidades para optimizar la aplicación de herramientas sostenibles y reducir la huella ambiental del sector, contribuyendo a una construcción más responsable que

permita mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y avanzar hacia un desarrollo urbano sostenible.

La **Tabla 1** responde a la holística que considera los aspectos social, económico, tecnológico, político y ambiental.

Tabla 1: Categorías de Justificación.

Categoría	Descripción
Social	La sostenibilidad en infraestructura busca garantizar el acceso equitativo a servicios básicos, mejorar la calidad de vida y fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a desafíos como las desigualdades sociales y el crecimiento urbano. Además, fomenta la inclusión social al priorizar proyectos que beneficien a los sectores más vulnerables.
Económica	La aplicación de herramientas sostenibles optimiza el uso de recursos, reduce costos operativos a largo plazo y mejora la eficiencia energética. También promueve el desarrollo económico mediante la creación de empleo verde y la atracción de inversiones responsables.
Tecnológica	La sostenibilidad impulsa la innovación tecnológica al incorporar métodos modernos y herramientas avanzadas que mejoran la planificación, ejecución y gestión de infraestructuras, adaptándolas a los retos del futuro.
Política	La implementación de herramientas sostenibles en infraestructura en países en desarrollo refuerza las políticas públicas al integrarse con los objetivos de desarrollo sostenible, promueve una gestión más eficiente y transparente de los recursos, y mejora la competitividad al atraer inversiones y fortalecer su posicionamiento en el mercado internacional.
Ambiental	La sostenibilidad reduce significativamente el impacto ambiental al mitigar emisiones de carbono, preservar ecosistemas y promover un uso eficiente de los recursos naturales, garantizando así un equilibrio entre desarrollo y conservación.

Fuente: Elaboración Propia

Esta tabla proporciona una justificación técnica que abarca las diversas dimensiones que hacen viable la implementación de herramientas sostenibles en sistemas de infraestructura en contextos de países en desarrollo, donde su adopción puede mejorar la sostenibilidad ambiental, social y económica.

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar un enfoque práctico para implementar y evaluar herramientas sostenibles en la construcción, optimizando su adopción y reduciendo el impacto ambiental.

Objetivos Específicos

- Analizar las herramientas sostenibles y sus efectos en el ciclo de vida de sistemas de infraestructura.
- Desarrollar un modelo dinámico que represente las interacciones entre herramientas sostenibles con un sistema de infraestructura.
- Formular recomendaciones para implementar herramientas sostenibles en el ciclo de vida de los sistemas de infraestructura.

HIPÓTESIS

Hipótesis General

La evaluación de herramientas sostenibles en sistemas infraestructura permitirá identificar mejoras y formular recomendaciones para su implementación en Perú.

Hipótesis Específicas

- El análisis de las herramientas sostenibles en infraestructura permitirá identificar sus impactos y facilitar su mejora y adopción.
- El Modelo Dinámico de Sistemas permite predecir las interacciones entre herramientas sostenibles e infraestructura, mejorando la toma de decisiones.

- Las recomendaciones basadas del modelo dinámico orientan la implementación de herramientas sostenibles en el ciclo de vida de la infraestructura.

VARIABLES

Variables Independientes

- Implementación de herramientas/tecnologías sostenibles.

Variables Dependientes

- Impacto ambiental de las herramientas sostenibles.
- Relación herramientas sostenibles-infraestructura.
- Viabilidad técnica, económica y social de las herramientas sostenibles.

CUADRO DE CONSISTENCIA

En esta investigación se presentan dos tablas que ayudan a organizar y guiar el análisis de manera clara. La **Tabla 1** describe el cuadro de consistencia, que se divide en tres partes principales: los problemas que justifican el estudio, los objetivos que marcan la dirección de la investigación y las hipótesis propuestas para ser verificadas. Por otro lado, la Tabla 2 explica cómo se han definido las variables, especificando sus aspectos más importantes y cómo se evaluarán. Ambos cuadros facilitan la comprensión de los elementos clave del estudio y aseguran que haya una relación lógica y ordenada entre ellos.

Tabla 2: Cuadro de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS
<i>Problema general</i>	<i>Objetivo general</i>	<i>Hipótesis general</i>
¿Cómo reducir los impactos ambientales y sociales negativos de la industria de la construcción mediante la adopción de herramientas sostenibles?	Desarrollar un enfoque práctico para implementar y evaluar herramientas sostenibles en la construcción, optimizando su adopción y reduciendo el impacto ambiental.	La evaluación de herramientas sostenibles en sistemas infraestructura permitirá identificar mejoras y formular recomendaciones para su implementación en Perú.
<i>Problemas específicos</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>Hipótesis específicas</i>
¿Qué herramientas son efectivas para reducir la contaminación ambiental en áreas urbanas desarrolladas?	Analizar las herramientas sostenibles y sus efectos en el ciclo de vida de sistemas de infraestructura.	El análisis de las herramientas sostenibles en infraestructura permitirá identificar sus impactos y facilitar su mejora y adopción.
¿Cómo integrar consideraciones ambientales esenciales desde el inicio de los proyectos de infraestructura?	Desarrollar un modelo dinámico que represente las interacciones entre herramientas sostenibles con un sistema de infraestructura.	El Modelo Dinámico de Sistemas permite predecir las interacciones entre herramientas sostenibles e infraestructura, mejorando la toma de decisiones.
¿Cuáles son los desafíos que enfrenta la construcción en países en desarrollo, en relación con la implementación de herramientas sostenibles?	Formular recomendaciones para implementar herramientas sostenibles en el ciclo de vida de los sistemas de infraestructura.	Las recomendaciones basadas del modelo dinámico orientan la implementación de herramientas sostenibles en el ciclo de vida de la infraestructura.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3: Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGIA
<i>Variables independientes</i>		<i>Métodos de investigación</i>
Implementación de herramientas/tecnologías sostenibles.	Teórica/Metodológica	La metodología de investigación empleada es: 1. Revisión de literatura 2. System Dynamic Model 3. Recomendaciones
<i>Variables dependientes</i>		<i>Tipo de investigación</i>
Impacto ambiental de las herramientas sostenibles.	Reducción del impacto ambiental	El tipo de investigación es de una investigación documental, bibliográfica y sistemática.
<i>Indicadores</i>		<i>Nivel de investigación</i>
Relación herramientas sostenibles- infraestructura.	Número de interacciones/bucles identificados	El nivel de la investigación es descriptivo y analítico.
<i>Diseño de investigación</i>		<i>Diseño de investigación</i>
Viabilidad técnica, económica y social de las herramientas sostenibles.	Herramientas sostenibles viables en aspectos técnicos, económicos y sociales.	El diseño de la investigación es no experimental.

Fuente: Elaboración Propia

ALCANCES

La investigación se centrará en desarrollar un enfoque metodológico para el análisis y la mejora de herramientas sostenibles en el sector de la construcción. Se realizará un estudio detallado de las herramientas más destacadas a nivel internacional, evaluando sus impactos ambientales, sociales y económicos para identificar tanto sus beneficios como los desafíos que limitan su implementación en sistemas de infraestructura.

El núcleo de este estudio será la creación de un Modelo Dinámico de Sistemas (System Dynamics Model), diseñado para simular cómo las herramientas sostenibles interactúan con las distintas fases de desarrollo de los sistemas de infraestructura. Este modelo permitirá un análisis profundo de variables clave, como la sostenibilidad ambiental, la viabilidad económica y los efectos sociales, brindando una comprensión detallada de sus interacciones en el sistema.

Además, se llevarán a cabo evaluaciones cualitativas para examinar los posibles efectos de implementar estas herramientas, asegurando que sean sostenibles y viables. Estas evaluaciones permitirán anticipar los resultados en distintos escenarios y contextos.

Por último, se desarrollará un plan estratégico para optimizar la adopción de herramientas sostenibles en los sistemas de infraestructura. Este plan incluirá recomendaciones y directrices que faciliten su integración y promuevan su uso en proyectos de construcción, reforzando un enfoque más sostenible en el sector.

LIMITACIONES

La investigación se enfrenta a ciertas limitaciones que deben considerarse al interpretar sus hallazgos. En primer lugar, la exploración de herramientas sostenibles en el contexto local es limitada, lo que obliga a recurrir al análisis de ejemplos y enfoques internacionales. Esta limitación impacta en la diversidad y profundidad del análisis, ya que la aplicación de prácticas sostenibles puede variar significativamente dependiendo de las condiciones y necesidades específicas de cada región.

El modelo dinámico de sistemas propuesto en este estudio se presenta como una herramienta conceptual que podría enriquecerse en futuras investigaciones mediante la integración de datos empíricos y variables adicionales que no se han considerado inicialmente. Esto permitiría que el modelo evolucione y mejore su precisión y aplicabilidad en diferentes contextos.

Adicionalmente, si bien este estudio se enfoca en un contexto particular, el modelo y los análisis realizados podrían replicarse y adaptarse a otras regiones o incluso a un nivel nacional. Sin embargo, la viabilidad de dicha replicación dependerá de la disponibilidad de

datos adecuados y la capacidad de ajustar el modelo a diversos contextos geográficos y socioeconómicos.

Por último, la implementación de herramientas sostenibles en los sistemas de infraestructura requiere un entorno de cooperación y disposición por parte de los actores clave, incluyendo entidades gubernamentales y la sociedad civil. La falta de un compromiso compartido y una cultura de colaboración podría dificultar la adopción efectiva de estas prácticas, limitando su impacto y sostenibilidad en el tiempo.



CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

Gestión de sistemas de infraestructura

La gestión de los sistemas de infraestructura es esencial para garantizar su eficiencia, durabilidad y su contribución al desarrollo sostenible de las sociedades. Estos sistemas, que abarcan elementos como edificios y otras estructuras del entorno construido, están diseñados para perdurar durante varias décadas, e incluso siglos. A lo largo de su ciclo de vida, atraviesan diversas fases, desde la planificación, extracción de materiales para su construcción hasta su demolición o reutilización final. Cada una de estas etapas tiene implicaciones ambientales, como el uso de recursos naturales, energía y agua, además de la emisión de gases contaminantes y la generación de desechos. La magnitud de estos impactos depende de factores como los métodos de producción, las fuentes de materias primas y los combustibles utilizados en cada fase (Crawford, 2011).

Es importante tener en cuenta que los sistemas de infraestructura no operan de manera independiente, sino que están interrelacionados entre sí. Las dependencias entre los diferentes sistemas son tan cruciales como su funcionamiento individual. Para que un sistema de infraestructura funcione de manera óptima, es necesario adoptar un enfoque integrador que considere la interacción entre todos los componentes del sistema (Hall et al., 2016). Además, estos sistemas tienen un impacto directo o indirecto en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), lo que subraya la necesidad de una gestión que contemple todas las fases de su ciclo de vida, desde la planificación hasta la demolición (Thacker et al., 2019).

El proceso de toma de decisiones en la gestión de estos sistemas debe basarse en marcos de referencia como el estándar ISO 55000, que establece directrices sobre cómo gestionar los activos a lo largo de su ciclo de vida (ISO, 2024). La gestión de infraestructuras enfrenta varios desafíos debido a la incertidumbre, la complejidad y los rápidos cambios sociales y tecnológicos, lo que requiere un enfoque estratégico flexible y adaptable (Frangopol et al., 2012).

System Thinking

El enfoque sistémico ofrece una perspectiva integral al analizar los sistemas como conjuntos de elementos interconectados que colaboran hacia un objetivo común, superando la visión fragmentada de los análisis tradicionales. Este enfoque, fundamentado en el holismo, sostiene que un sistema es más que la simple suma de sus partes, ya que las interacciones entre sus componentes generan comportamientos emergentes que no pueden explicarse de manera aislada (Meadows, 2008; Von der Tann et al., 2020). Esta perspectiva es fundamental para abordar desafíos técnicos y sociales, al considerar tanto las relaciones internas de los sistemas como el entorno en el que operan.

En el ámbito de las infraestructuras, esta visión resulta crucial para enfrentar la complejidad de los sistemas sociotécnicos, como el transporte urbano, que combina componentes técnicos, normativos y sociales. Estas interacciones están delimitadas por fronteras internas y externas que afectan su propósito, el cual puede variar según las prioridades de los actores involucrados, generando tensiones y desafíos inherentes (Meadows, 2008; Von der Tann et al., 2020).

El pensamiento sistémico también se apoya en los procesos de descomposición e integración para analizar problemas complejos. Zhang et al. (2020) señalan que un sistema

puede dividirse en elementos relacionados para simplificar problemas amplios, sin perder de vista las interdependencias que existen entre ellos. Este enfoque es particularmente útil para abordar cuestiones sistémicas típicas, como los accidentes en la construcción, al identificar y gestionar integralmente los factores subyacentes que los originan.

Asimismo, se reconoce que mejorar un subsistema no siempre garantiza el progreso del sistema en su conjunto. Por ello, el enfoque sistémico se enfoca en identificar relaciones causales y bucles de retroalimentación, lo que permite anticipar conflictos y generar soluciones holísticas (Arnold & Wade, 2015). Herramientas como el modelado de sistemas son fundamentales para analizar las dinámicas complejas, flujos y acumulaciones, lo que facilita la gestión de incertidumbres y fomenta la experimentación para optimizar resultados (Sterman, 2002; Von der Tann et al., 2020).

ESTADO DEL ARTE

Dado que este estudio se basa en una revisión sistemática de artículos, se eligió reorganizar la estructura convencional del documento. Por ello, se incorporó la sección de Estado del Arte dentro del Capítulo de Resultados y Discusión. Esta decisión responde al enfoque principal de la investigación, centrado en analizar y sintetizar la literatura existente. Al combinar ambas secciones, se logra una discusión más clara y detallada de los resultados, estableciendo una conexión más directa con el contexto de la investigación.

MARCO LEGAL

En la siguiente tabla se presenta normas y/o reglamentos junto con su respectivo objeto de estudio, cada una proporciona una referencia para comprender estándares aplicables y sus regulaciones en nuestra área de estudio.

Tabla 4: Normas/Reglamentos respecto a sostenibilidad en el Perú

ID	MARCO LEGAL	OBJETO DE ESTUDIO
1	Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) (Ministerio-de-Vivienda-Construcción-y-Saneamiento, 2021b)	Establece parámetros esenciales que las edificaciones deben satisfacer en aspectos de seguridad, comodidad, funcionalidad, acceso, eficiencia energética y herramientas sostenibles. Además, define requisitos técnicos para la construcción sostenible, incluyendo eficiencia energética, conservación del agua, gestión de residuos y uso de materiales ecológicos.
2	Fondo Mivivienda verde (Fondo-Mivivienda, 2015)	Promueve la construcción de viviendas ecológicas y eficientes, brindando beneficios económicos para quienes opten por estas tecnologías amigables con el entorno. Busca mejorar la calidad de vida y combatir el cambio climático a través de herramientas constructivas más conscientes y responsables del medio ambiente.
3	Código Técnico de Construcción Sostenible (Ministerio-de-Vivienda-Construcción-y-Saneamiento, 2021a)	El objetivo del Código Técnico de Construcción Sostenible es establecer requisitos técnicos para que las edificaciones y habilitaciones urbanas cumplan con condiciones básicas de sostenibilidad. Se aplica de manera complementaria a los criterios del Reglamento Nacional de Edificaciones y otras normas pertinentes. Busca mejorar la calidad de vida a través de la eficiencia hídrica y energética, la reducción de residuos y la promoción de la movilidad sostenible.
4	Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la competitividad (Ministerio-de-Economía-y-Finanzas, 2022)	El Plan Nacional de Infraestructura Sostenible tiene como objetivo impulsar el crecimiento económico y mejorar la competitividad en Perú, cerrando brechas de infraestructura y garantizando acceso a servicios públicos. En cuanto a sostenibilidad, el plan promueve proyectos que integren dimensiones económicas, sociales, institucionales y ambientales, asegurando que sean resilientes al cambio climático y beneficien a todos los grupos de interés, especialmente a los más vulnerables.
5	Norma Técnica Peruana ISO 37106 (INACAL, 2024)	Proporciona orientaciones para lograr una adecuada transición de un modelo de ciudad tradicional a uno más funcional, tecnológico y sostenible, con el propósito de reducir la huella ambiental.

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Revisión bibliográfica

Se realizó una investigación exhaustiva de artículos indexados relacionados con herramientas que promueven la sostenibilidad. Para ello, se utilizaron repositorios académicos como SCOPUS y Google Scholar. Esta revisión bibliográfica permitió identificar estudios previos, metodologías y herramientas relevantes que contribuyen al desarrollo del Modelo de Dinámica de Sistemas Sostenible MDSS.

Selección de variables

Se llevó a cabo una revisión detallada de las variables presentadas en el estudio de Espinoza Vigil and Carhart (2024). Estas variables fueron analizadas y filtradas en función de su relevancia para la sostenibilidad, excluyendo aquellas que no eran consistentes con los objetivos del estudio. Adicionalmente, se incorporaron nuevas variables identificadas durante la revisión bibliográfica que resultaban pertinentes. Este proceso aseguró que el modelo se basara en factores clave que influyen en la sostenibilidad de los sistemas de infraestructura

Desarrollo de modelo dinámico de sistemas sostenibles

Con las variables seleccionadas y la teoría recopilada, se procedió al desarrollo del Modelo de Dinámica de Sistemas Sostenible. El objetivo principal fue identificar cómo cada variable contribuye a la sostenibilidad en cada etapa del ciclo de vida del sistema. Esto permitió observar interacciones, dependencias y áreas de impacto entre las variables. El modelo se representó utilizando el software Vensim, mediante diagramas de bucles causales

y retroalimentaciones, capturando visualmente los vínculos de refuerzo y equilibrio entre las variables.

Análisis sistemático del modelo

Se realizó un análisis sistemático del modelo desarrollado. Se deconstruyeron las partes más importantes del Modelo de Dinámica de Sistemas Sostenible (MDSS), incluyendo el núcleo del modelo, las variables más influyentes, los bucles de retroalimentación y los puntos de apalancamiento. Este análisis profundo contribuyó a comprender cómo cada elemento puede reforzar o estabilizar el sistema, proporcionando perspectivas valiosas para mejorar la sostenibilidad y eficiencia a lo largo del ciclo de vida.

TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Este estudio es de tipo cualitativo y nivel descriptivo-exploratorio. Al ser netamente cualitativa, la investigación se enfoca en comprender y analizar en profundidad las dinámicas y relaciones entre las variables que afectan la sostenibilidad en sistemas de infraestructura, sin recurrir a la cuantificación numérica de los datos.

- **Investigación Cualitativa:** Se orienta al estudio detallado y profundo de fenómenos complejos, permitiendo obtener una comprensión integral de las interacciones y significados detrás de las variables analizadas.
- **Nivel Descriptivo-Exploratorio:** Busca describir las características fundamentales de las variables y explorar nuevas relaciones o patrones que emergen del análisis, sin formular hipótesis previamente establecidas.

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

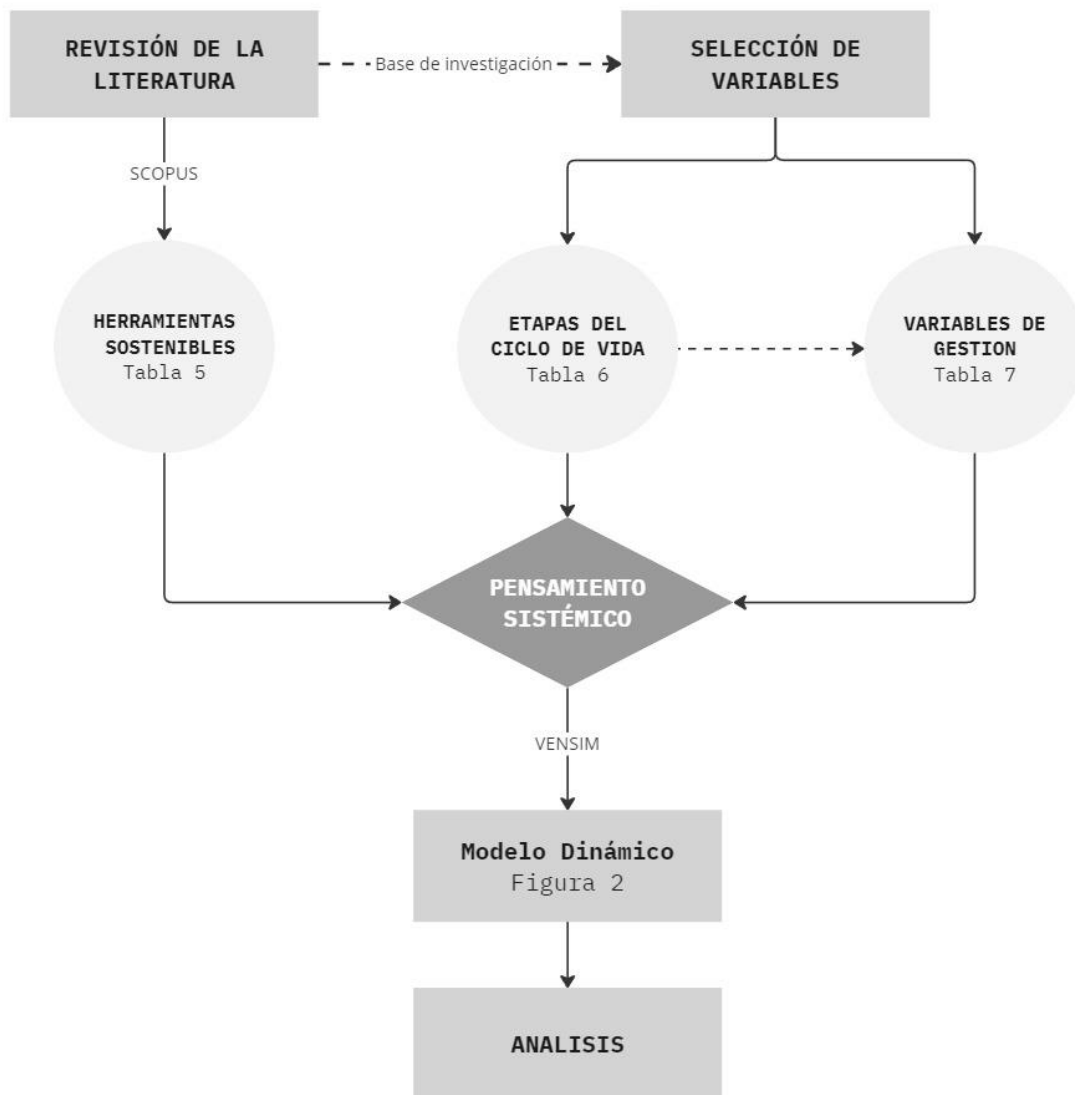
El diseño de investigación adoptado es de tipo no experimental y transversal. Este diseño es adecuado para nuestro objetivo, que consiste en añadir variables al conjunto existente y analizar sus interacciones e impactos en la sostenibilidad de sistemas de infraestructura.

- **Diseño No Experimental:** No se manipulan variables de manera deliberada ni se controlan condiciones experimentales. En su lugar, se observan y analizan las variables tal como se presentan en su entorno natural. Esto nos permite comprender las relaciones y dinámicas existentes sin intervenir directamente en ellas.
- **Diseño Transversal:** La recolección de datos y el análisis se realizan en un único punto en el tiempo. Esto proporciona una visión general de las interacciones entre las variables en el momento actual, permitiendo identificar patrones y relaciones significativas.

ESQUEMA METODOLÓGICO

La **Figura 1** resume las fases descritas, se presenta un diagrama de flujo de la metodología en la **Figura 1**. Esta representación visual el proceso seguido desde la revisión de literatura, identificación y adición de variables hasta el análisis de sus interacciones e impactos.

Figura 1: Esquema metodológico.



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA DE HERRAMIENTAS SOSTENIBLES

En relación con el objetivo de este estudio, que es identificar herramientas que contribuyen a mejorar la sostenibilidad de los sistemas de infraestructura, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica. Se examinaron y analizaron un total de 137 artículos de revistas indexadas en SCOPUS y Google Scholar. La selección se guio mediante palabras clave como sostenibilidad, sistemas de infraestructura e infraestructura sostenible, limitándose a artículos clasificados en las áreas de Ingeniería y Ciencias Ambientales.

La **Tabla 5** presenta los hallazgos de la revisión bibliográfica, enumerando un total de 21 herramientas junto con sus respectivos autores y una síntesis de su relevancia en el contexto de la sostenibilidad en infraestructuras.

Tabla 5: Herramientas de conducción sostenible, fuentes y relevancia.

ID	HERRAMIENTAS	AUTOR	RELEVANCIA
T1	Building Information Modeling (BIM)	Bonenberg and Wei (2015); Lu et al. (2017); Na et al. (2022)	Integra datos ambientales en cada fase del proyecto, permitiendo simulaciones de eficiencia energética y reduciendo residuos materiales. Mejora la sostenibilidad en el diseño y operación de infraestructuras mediante monitoreo y ajustes continuos.
T2	Life Cycle Assessment (LCA)	Reza et al. (2014); Buyle et al. (2013); Fathollahi and Coupe (2021); Röck et al. (2018)	Evalúa el impacto ambiental completo, optimizando el uso de materiales sostenibles y reduciendo el consumo energético. Brinda una visión integral para tomar decisiones fundamentadas en sostenibilidad a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

T3	Planificación Adaptativa Dinámica (DAP)	Kwakkel et al. (2012); Wall Thomas et al. (2015)	Ofrece planes flexibles y ajustables ante condiciones cambiantes, aumentando la resiliencia en infraestructuras. Es particularmente útil en contextos de incertidumbre climática, permitiendo respuestas rápidas y adaptativas a nuevos desafíos.
T4	Geographic Information System (GIS)	Revelo Cáceres et al. (2023); Ammar and Dadi (2021)	Mejora la planificación mediante análisis de datos geoespaciales, optimizando el uso del suelo y los recursos naturales. Contribuye a reducir el impacto ambiental mediante decisiones informadas sobre la ubicación y diseño de infraestructuras.
T5	Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM)	Diaz-Sarachaga et al. (2017); Shariat et al. (2019); Vo et al. (2002)	Integra criterios ambientales, sociales y económicos para tomar decisiones equilibradas y sostenibles en infraestructura. Facilita la selección de soluciones que responden a las demandas complejas del entorno y mejoran la adaptabilidad.
T6	Changeability	Sánchez-Silva (2019); Acuña-Coll and Sánchez-Silva (2023)	Permite una adaptación proactiva a condiciones cambiantes, fortaleciendo resiliencia y sostenibilidad durante el ciclo de vida de la infraestructura. Mejora la operatividad mediante la anticipación de impactos y la gestión de incertidumbres.
T7	Last planner System (LPS)	Salazar et al. (2020); Nesteby et al. (2016);	Optimiza la coordinación y reduce la variabilidad en proyectos de construcción, promoviendo una gestión eficiente y sostenible de los recursos. Su implementación incrementa la productividad y minimiza desperdicios en la ejecución del proyecto.
T8	Lean and Green	Adhi and Muslim (2023); Khodeir and Othman (2018); Tafazzoli et al. (2020)	Reduce residuos y aumenta la eficiencia en proyectos de construcción mediante la eliminación de actividades sin valor agregado. Integra prácticas ecológicas, maximizando el valor con menores costos y promoviendo la sostenibilidad del ciclo de vida.
T9	Control cadena de suministros de materiales (SCOR)	Wibowo and Sholeh (2017); Montag and Pettau (2022)	Optimiza la cadena de suministro con procesos de reciclaje y reutilización, promoviendo un modelo de economía circular en infraestructuras. Facilita la

			coordinación de entregas y reduce riesgos en la adquisición de materiales sostenibles.
T10	Material Flow Accounting (MFA)	Kullmann et al. (2021); Withanage and Habib (2021)	Facilita la gestión circular de materiales, mejorando la sostenibilidad y reduciendo el impacto ambiental en sistemas urbanos. Apoya la reutilización y reciclaje, promoviendo la resiliencia y minimizando la huella ecológica de los materiales.
T11	Green Public Procurement (GPP)	Braulio-Gonzalo and Bovea (2020); Al Hazza et al. (2023)	Integra criterios ambientales en adquisiciones públicas, seleccionando productos de bajo impacto. Aunque enfrenta desafíos de implementación, fomenta la sostenibilidad en proyectos públicos y mejora el cumplimiento de normativas ambientales.
T12	Internet de las cosas (IoT)	T. Chen et al. (2023); Bibri (2018); Moudgil et al. (2023)	Facilita la gestión en tiempo real de recursos críticos como agua y energía, optimizando su consumo y reduciendo la huella de carbono en infraestructuras urbanas. Promueve la toma de decisiones informadas y ajustes automáticos.
T13	Structural Health Monitoring (SHM)	Wang and Ke (2024); Li et al. (2016); Cañete et al. (2019)	Detecta y localiza daños en infraestructuras mediante monitoreo continuo, reduciendo costos de mantenimiento y alargando la vida útil. Mejora la sostenibilidad con evaluaciones precisas que optimizan las decisiones de mantenimiento.
T14	Drones	Gyamfi et al. (2024); Whitehurst et al. (2021); Kellermann et al. (2020)	Mejoran la eficiencia en la recolección de datos y reducen la necesidad de inspecciones manuales, favoreciendo la sostenibilidad. Facilitan evaluaciones rápidas en zonas de difícil acceso, apoyando la planificación resiliente de infraestructuras.
T15	Big data	Papadopoulos et al. (2017); Goti et al. (2018); Anejionu et al. (2019)	Gestiona grandes volúmenes de datos para análisis predictivos, mejorando la resiliencia y sostenibilidad de infraestructuras urbanas. Permite el monitoreo de redes complejas y la optimización de políticas ambientales y gestión de desastres.

T16	Machine Learning (ML)	Munawar et al. (2022); Chen et al. (2024); García et al. (2023)	Optimiza el mantenimiento de infraestructuras mediante la detección automática de fallos y corrosión. Este enfoque prolonga la vida útil y reduce reparaciones costosas, contribuyendo a una gestión sostenible y eficiente de los recursos.
T17	Inteligencia Artificial (IA)	Habib et al. (2024); Shaamala et al. (2024); Bibri et al. (2024)	Permite modelos predictivos y análisis en tiempo real, anticipando riesgos y mejorando la resiliencia de infraestructuras. Optimiza la sostenibilidad urbana al gestionar eficientemente recursos y reducir el impacto ambiental.
T18	Economía Circular	Joensuu et al. (2020); Van Breugel (2017); Valencia et al. (2022)	Prolonga el ciclo de vida de materiales mediante estrategias de reutilización y reciclaje, reduciendo la dependencia de nuevos recursos y minimizando residuos. Fortalece la resiliencia y sostenibilidad en la infraestructura urbana.
T19	Green Water System (GWS)	Valencia-Félix et al. (2024); Leigh and Lee (2019); Sitzenfrei et al. (2020)	Promueve un manejo descentralizado y sostenible del agua, disminuyendo la dependencia de sistemas centralizados. Aumenta la resiliencia hídrica urbana y proporciona una alternativa natural para la gestión del agua.
T20	Integrated project delivery (IPD)	Hellström et al. (2021); Khanna et al. (2021)	Facilita la colaboración desde las primeras etapas del proyecto, mejorando la eficiencia y reduciendo costos. Fomenta la sostenibilidad mediante la coordinación y alineación de objetivos ambientales y económicos.
T21	Community Approach	Aguñaga et al. (2018); Gbadegesin et al. (2020); Kati and Jari (2016)	Involucra a las comunidades en todas las etapas del proyecto, asegurando sostenibilidad y resiliencia. Aumenta el sentido de pertenencia y mejora la eficacia de proyectos que responden a las prioridades comunitarias.

Fuente: Elaboración Propia

ESTABLECIENDO VARIABLES

Variables del Ciclo de Vida de un Sistema de Infraestructura

El siguiente paso fue determinar las principales etapas de un sistema de infraestructura. Se tomaron como referencia las diez etapas del ciclo de vida propuestas por Espinoza Vigil and Carhart (2024). Sin embargo, se realizaron algunas consideraciones para adaptar estas etapas al contexto del presente estudio, enfocándose en proyectos de infraestructura en Perú.

Las etapas fueron agrupadas y renombradas para reflejar mejor la realidad operativa de los proyectos de infraestructura. Las cinco etapas consideradas son:

- **S1 - Planificación y Diseño:** Agrupa las etapas de planificación, inversión y diseño, ya que en el contexto peruano estas suelen ejecutarse de manera simultánea.
- **S2 - Adquisiciones:** Corresponde a la etapa de adquisición, renombrada para reflejar mejor su función en el proceso.
- **S3 - Construcción:** Incluye las etapas de construcción y entrega, ya que ambas son responsabilidad del contratista y comparten objetivos y estándares.
- **S4 - Operación y Mantenimiento:** Combina las etapas de operación y mantenimiento, que suelen ser gestionadas por la misma entidad.
- **S5 - Renovación y Disposición Final:** Agrupa las etapas de disposición y renovación, enfocándose en la revalorización de la infraestructura al final de su vida útil.

La **Tabla 6** presenta las cinco etapas junto con las herramientas sostenibles asociadas y una breve descripción de cada etapa.

Tabla 6: Etapas del ciclo de vida de un sistema de infraestructura

ID	ETAPA	HERRAMIENTAS	DESCRIPCION
S1	Planificación y Diseño	<i>Todas, excepto T13</i>	Etapa inicial donde se conceptualiza y diseña el proyecto, asegurando estudios de factibilidad e inversión.
S2	Adquisiciones	<i>T7, T9, T11, T20</i>	Etapa de adquisición de materiales y equipos. Gestión de la cadena de suministro.
S3	Construcción	<i>T1, T2, T6-T9, T11-T14, T16, T17, T20, T21</i>	Etapa de construcción física, incluyendo la entrega. Enfocada en la eficiencia y cumplimiento de plazos y estándares.
S4	Operación y Mantenimiento	<i>T1- T6, T8, T10, T13-T17, T19, T21</i>	Etapa de uso de la infraestructura, con estrategias de operación y mantenimiento para maximizar eficiencia y extender la vida útil.
S5	Renovación y Disposición	<i>T1, T2, T4, T15, T18, T19</i>	Etapa final que incluye remodelación o demolición, priorizando la reutilización de materiales y gestión sostenible de residuos.

Fuente: Elaboración Propia

Variables del Ciclo de Vida de un Sistema de Infraestructura

A diferencia del estudio de Espinoza Vigil and Carhart (2024), este trabajo no se limita a infraestructuras públicas, sino que su enfoque es aplicable también a infraestructuras privadas. El análisis se centra en las variables con impacto directo en la sostenibilidad del sistema, proporcionando una estructura clara para evaluar las herramientas aplicables y su relevancia en cada etapa del ciclo de vida. Inspirados en la metodología de Espinoza Vigil and Carhart (2024), se realizó una reducción y refinamiento de variables, denominadas ahora Variables de Gestión del Sistema de Infraestructura (VGSI). Las consideraciones para el filtrado fueron:

- Se eliminaron variables directamente relacionadas con aspectos políticos por su enfoque limitado.

- Se excluyeron variables asociadas a recursos humanos, como liderazgo y procesos de contratación.
- Se eliminaron variables no asociadas a ninguna herramienta.
- Se descartaron variables de bucles no significativos.
- Se añadieron las siguientes variables: Reutilización de Materiales, Adaptabilidad del Diseño a Condiciones Ambientales y Eficiencia y Durabilidad de Recursos Operativos.

La **Tabla 7** presenta la lista refinada de variables seleccionadas, junto con sus herramientas asociadas e impacto correspondiente.

Tabla 7: Variables y su relación causal en los sistemas de infraestructura sostenible

ETAPAS	VARIABLES	HERRAMIENTA	IMPACTO
S1	Información Estadística Confiable sobre Brechas	Big Data	Analiza grandes volúmenes de datos para identificar patrones y tendencias, mejorando la planificación estratégica en el desarrollo de infraestructuras.
		IoT	Proporciona datos en tiempo real a través de sensores conectados, permitiendo detección temprana de problemas y acciones oportunas.
		Machine Learning	Identifica patrones ocultos y anticipa posibles brechas o fallos en la infraestructura mediante análisis predictivo.
		Circular Economy	Fomenta la reutilización y reciclaje de materiales, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo sostenibilidad a largo plazo.
		BIM	Facilita la simulación de escenarios ambientales en el diseño, mejorando eficiencia energética y reduciendo costos operativos.
	Adaptabilidad del Diseño a Condiciones Ambientales	LCA	Ofrece una visión completa del ciclo de vida del proyecto, identificando

ETAPAS	VARIABLES	HERRAMIENTA	IMPACTO
			oportunidades para optimizar recursos y reducir emisiones.
	Participación y Compromiso de la comunidad	Commuity Approach	Garantiza que el proyecto satisfaga necesidades locales mediante la incorporación del feedback comunitario en planificación y ejecución.
	Concepción de Proyectos a Gran Escala	Commuity Approach	Alinea el diseño del proyecto con el contexto social y ambiental local, ajustando la planificación a necesidades específicas.
	Agenda en Objetivos, Alcance y Recursos	GWS	Implementa sistemas sostenibles de gestión del agua, reduciendo la huella hídrica y mejorando resiliencia ante escasez de recursos.
		DAP	Permite flexibilidad en el diseño para adaptarse a cambios en objetivos, alcance y recursos durante todo el proyecto.
	Aplicación de Estudios de Campo	GIS	Proporciona datos geoespaciales detallados para planificar ubicación y recursos con precisión, identificando riesgos ambientales y sociales.
		Drones	Obtiene imágenes aéreas de alta resolución, facilitando análisis topográfico y detección de obstáculos en el terreno de manera eficiente.
	Preservación de Infraestructura Existente	Cicular Economy	Prioriza reutilización y prolongación de infraestructuras existentes, minimizando construcción nueva y reduciendo costos ambientales y económicos.
		LCA	Identifica mejoras para eficiencia energética y funcionalidad en infraestructuras existentes mediante renovaciones sostenibles.
		Changeability	Promueve diseños modulares y flexibles que se adaptan a cambios

ETAPAS	VARIABLES	HERRAMIENTA	IMPACTO
			en demanda y tecnología, asegurando eficiencia a largo plazo.
	Priorización de Nueva Infraestructura	MCDM	Impacto: Facilita decisiones equilibradas al considerar múltiples criterios, priorizando infraestructuras alineadas con objetivos estratégicos.
		LCA	Ayuda a seleccionar materiales y tecnologías sostenibles, minimizando impacto ambiental desde la concepción del proyecto.
	Tiempo Productivo de Trabajo	Lean and Green	Maximiza productividad y reduce desperdicios mediante metodologías lean, minimizando impacto ambiental y creando valor sostenible.
	Asuntos Legales	GPP	Establece criterios sostenibles en adquisiciones, alineándose con regulaciones y fomentando prácticas ecológicas en el ámbito público.
		IPD	Facilita acuerdos legales colaborativos, minimizando conflictos contractuales y promoviendo transparencia y cumplimiento normativo.
		GPP	Simplifica adquisiciones mediante criterios sostenibles claros, reduciendo retrasos y complejidad en procesos burocráticos.
2	Burocracia: Procesos de Adquisición Largos y Complicados	IPD	Centraliza decisiones y agiliza etapas, facilitando un proceso de adquisición más eficiente y menos burocrático.
		MFA	Optimiza flujos de materiales, reduciendo desperdicios y mejorando eficiencia en adquisiciones y logística.
		SCOR	Estandariza la cadena de suministro, optimizando tiempos y simplificando procedimientos para reducir complejidad burocrática.

ETAPAS	VARIABLES	HERRAMIENTA	IMPACTO
	Ambiente Interno/Organizacional	IPD	Mejora el clima organizacional al integrar equipos tempranamente, fomentando comunicación eficiente y cultura colaborativa.
	Capacidad del Equipo de Construcción	IPD	Fomenta aprendizaje compartido y colaboración temprana, desarrollando habilidades y mejorando eficiencia del equipo.
		Last Planner System	Optimiza asignación de tareas y recursos, mejorando desempeño y eficiencia en ejecución de proyectos.
	Entrega Formal de Proyectos Terminados	IPD	Asegura entrega estructurada y sin conflictos, garantizando claridad en requisitos y transferencia fluida de responsabilidades.
		Last Planner System	Coordina finalización precisa de tareas, permitiendo ajustes oportunos para cumplir plazos de entrega.
3	Paralizaciones y Retrasos	Last Planner System	Previene interrupciones mediante planificación ajustable, identificando obstáculos tempranamente y aplicando soluciones proactivas.
		IoT	Proporciona visibilidad en tiempo real de operaciones, permitiendo gestión ágil al detectar y resolver problemas inmediatamente.
	Supervisión Adecuada y Constante	SHM	Ofrece supervisión continua con datos estructurales en tiempo real, mejorando seguridad y reduciendo riesgos de fallos.
		Drones	Facilitan inspecciones detalladas en áreas de difícil acceso, aumentando eficiencia y seguridad sin interrumpir actividades.
4	Enfoque en el Mantenimiento Correctivo	SHM	Activa intervenciones precisas al detectar problemas estructurales, optimizando recursos y reduciendo reparaciones innecesarias.

ETAPAS	VARIABLES	HERRAMIENTA	IMPACTO
		Machine Learning	Analiza datos de SHM para identificar patrones de fallas, mejorando eficacia en mantenimiento correctivo.
		IA	Automatiza detección y diagnóstico de fallas, reduciendo tiempo de respuesta y proporcionando soluciones óptimas.
		Circular Economy	Implementa reutilización y reciclaje de componentes, disminuyendo necesidad de nuevos recursos y promoviendo sostenibilidad.
	Mantenimiento Preventivo	SHM	Anticipa y evita fallos mediante monitoreo de desgaste, mejorando confiabilidad y disponibilidad de activos.
		Machine Learning	Predice cuándo se requiere mantenimiento analizando datos históricos y en tiempo real, optimizando planes preventivos.
		IA	Automatiza planificación y ejecución de mantenimiento, mejorando eficiencia y reduciendo errores humanos.
	Eficiencia y Durabilidad de los Recursos Operativos	LCA	Identifica mejoras para prolongar vida útil de recursos y reducir costos operativos mediante análisis exhaustivo del ciclo de vida.
5	Contaminación	GPP	Reduce emisiones y residuos al seleccionar productos y servicios sostenibles, fomentando innovación verde en proveedores.

Fuente: Elaboración Propia

DESARROLLO DEL MODELO DINAMICO DE SISTEMAS SOSTENIBLES (MDSS)

Basándose en la teoría del Pensamiento Sistémico, se desarrolló un Modelo de Dinámica de Sistemas Sostenible (MDSS) que integra las etapas del ciclo de vida (S1-S5), las VGSI y las herramientas sostenibles identificadas. El modelo, representado en la Figura 1, captura las interacciones clave que impactan positivamente en el sistema, proporcionando una representación visual de estas relaciones.



- Se utilizaron signos positivos (+) y negativos (-) para definir las relaciones entre variables según su influencia. El signo positivo (+) indica interacciones que refuerzan o amplifican efectos dentro del sistema, mientras que el signo negativo (-) representa una relación inversa o reguladora.
- Se consideraron líneas sólidas y punteadas para representar el nivel de relación y condición entre variables. Las líneas sólidas reflejan relaciones directas y continuas, donde el impacto es inmediato y sin depender de factores externos. Las líneas punteadas representan relaciones condicionales que dependen de contextos específicos.
- Los colores se utilizaron para diferenciar entre variables y sus interacciones: el negro para el núcleo (etapas), el azul para las VGSI y el verde para las herramientas sostenibles.
- Se identificaron bucles de retroalimentación de refuerzo (R) y de equilibrio (B) que representan interacciones circulares entre variables. Los bucles de refuerzo indican cambios que generan incrementos o decrementos acumulativos, mientras que los bucles de equilibrio denotan dinámicas de regulación o estabilización.

ANÁLISIS DEL MODELO DINAMICO Y PROPUESTA DE OPTIMIZACION

El análisis se centra en la interacción dinámica entre las etapas del ciclo de vida de los sistemas de infraestructura, representadas en el núcleo del modelo, y las herramientas clave más influyentes. Además, se identifican los bucles de refuerzo y equilibrio más importantes y los puntos de apalancamiento, lo que permite proponer mejoras estratégicas para infraestructuras más eficientes y sostenibles.

Núcleo del modelo

El núcleo del modelo consta de cinco etapas interconectadas que representan el ciclo de vida completo de los sistemas de infraestructura. Este núcleo, denominado R0, facilita la

comprensión de cómo cada etapa influye directamente en la siguiente, creando un flujo continuo. Dentro del núcleo, se identifican bucles de refuerzo adicionales—R1, R2, R4, R5, R6, R7, R8 y R10—que refuerzan las interacciones entre las etapas, destacando su influencia mutua y contribución a la estabilidad del sistema.

- S1: Planificación y Diseño es la etapa más influyente, definiendo la esencia de la infraestructura al conceptualizar y proyectar decisiones que impactan en todas las demás etapas. Establece especificaciones, cronogramas y costos, creando un plan estratégico que guía el desarrollo del proyecto.
- De S1, el flujo progresa a S2: Adquisiciones, donde las decisiones iniciales se materializan a través de la selección y adquisición de materiales, equipos y tecnologías. La alineación entre S1 y S2 es crucial, ya que los recursos adquiridos impactan directamente en la siguiente etapa, pudiendo generar retrasos o adquisiciones deficientes que dificulten el progreso de S3: Construcción.
- En S3, los recursos adquiridos se transforman en infraestructura tangible, siguiendo las especificaciones y cronogramas establecidos en S1. Una buena construcción influye positivamente en S4: Operación y Mantenimiento, minimizando necesidades de mantenimiento correctivo y optimizando la eficiencia operacional.
- S5: Renovación y Disposición Final inicia cuando la infraestructura alcanza el final de su funcionalidad útil, influenciada directamente por las decisiones tomadas en S4. Una infraestructura bien mantenida requerirá menos intervenciones, traduciéndose en menores costos y menor impacto ambiental.
- El ciclo se cierra con una retroalimentación hacia S1, incluyendo un retraso temporal, ya que las decisiones y contextos generados en S5—como la gestión de disposición y estrategias de reciclaje—se incorporan eventualmente en el proceso de planificación inicial

en S1. Así, se completa el bucle, asegurando que el sistema evolucione continuamente, adaptándose y mejorando para lograr infraestructuras más sostenibles y eficientes.

Herramientas clave

Además del núcleo, se identificaron 21 herramientas, de las cuales cinco destacan por su capacidad para conectar variables críticas y potenciar bucles de refuerzo y equilibrio:

- LCA juega un rol importante al evaluar los impactos ambientales a lo largo de la mayoría de las etapas, proporcionando información crucial para decisiones sostenibles y eficientes.
- Economía Circular impulsa la sostenibilidad y afecta positivamente la mayoría de las etapas al vincularse con variables importantes como reutilización de materiales, suministro de materiales y mantenimiento.
- BIM está directamente vinculado a S1 y tiene la capacidad de integrar datos multidimensionales, facilitar la planificación y refinar el diseño, impactando directamente en la sostenibilidad del proyecto desde su conceptualización inicial.
- SHM es crucial por su capacidad para detectar problemas estructurales a tiempo, permitiendo implementar intervenciones preventivas o correctivas que extienden la vida útil de las estructuras, reducen costos de mantenimiento y minimizan riesgos operacionales.
- IoT complementa a SHM al recolectar datos en tiempo real, habilitando monitoreo continuo y análisis predictivos que optimizan la operación, anticipan fallas y mejoran la eficiencia del sistema.

Bucles de refuerzo

- R3: Compuesto por S1 - BIM - LCA - Adaptabilidad del Diseño a Condiciones Ambientales, resalta la sinergia entre planificación, diseño y herramientas avanzadas para promover la sostenibilidad en infraestructuras. Una planificación sólida y recursos adecuados en S1 facilitan la implementación de tecnologías como BIM, que mejora la precisión en modelado y análisis del proyecto, favoreciendo positivamente el análisis LCA. Los resultados del LCA influyen directamente en el diseño, promoviendo una mejor adaptabilidad a condiciones ambientales. Este diseño adaptativo y eficiente retroalimenta a S1, mejorando planificación, reduciendo costos y riesgos, y permitiendo proyectos más resilientes y alineados con objetivos.
- R20: Integrado por Economía Circular - MFA - SCOR, conecta eficazmente el seguimiento de materiales y la economía circular para promover la sostenibilidad en la gestión de recursos. Comienza con MFA, que proporciona información detallada sobre flujos de materiales. Estos datos fortalecen SCOR, ayudando a identificar ineficiencias, reducir desperdicios y optimizar la gestión de materiales. Un control más efectivo a través de SCOR facilita la adopción de prácticas de Economía Circular, como reutilización y reciclaje, reforzando el papel de MFA al proporcionar datos y análisis necesarios para evaluar y asegurar un ciclo cerrado de materiales.
- R23 y R24: Ambos bucles conectan SHM, IoT, Big Data, Machine Learning y, en el caso de R24, Inteligencia Artificial, para crear un sistema de monitoreo estructural que mejora continuamente. SHM proporciona datos estructurales en tiempo real; IoT y Big Data almacenan y gestionan estos datos; Machine Learning y AI analizan e identifican patrones y anomalías, ajustando modelos predictivos y optimizando parámetros de monitoreo. Estos

bucles refuerzan la precisión y eficiencia del monitoreo estructural, asegurando que el sistema se vuelva más inteligente con cada iteración.

Puntos de apalancamiento

Los puntos de apalancamiento son lugares dentro de un sistema donde pequeños cambios pueden llevar a transformaciones significativas en su comportamiento (Leventon et al., 2021; Meadows, 2015). En el modelo analizado:

- S1: Planificación y Diseño se destaca como el punto de apalancamiento más importante debido a las numerosas conexiones que establece con otras variables. Al ser la base del sistema, incluso cambios menores en esta etapa pueden propagarse y crear efectos significativos en todo el sistema.
- Herramientas como Economía Circular y LCA juegan un papel esencial al estar posicionadas en el lado izquierdo del modelo. Su aplicación o ajustes pueden iniciar impactos de gran alcance, influyendo en todas las etapas del modelo.
- La alta cantidad de bucles asociados con Economía Circular (115), LCA (146) y S1 (189) representa su relevancia como elementos fundamentales en la dinámica del sistema, amplificando su capacidad para influir significativamente en el comportamiento general.

En resumen, el análisis del MDSS revela la importancia de una planificación estratégica y la integración de herramientas avanzadas para mejorar la sostenibilidad en infraestructuras. Identificar y actuar sobre los puntos de apalancamiento puede conducir a mejoras sustanciales, promoviendo sistemas más eficientes, resilientes y alineados con los objetivos de desarrollo sostenible.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La presente investigación permitió identificar un total de 21 herramientas clave que promueven la sostenibilidad en sistemas de infraestructura, evidenciando la riqueza y diversidad de enfoques disponibles en el ámbito actual. Estas herramientas destacan la importancia de adoptar estrategias que se ajusten a las características y necesidades específicas de cada proyecto, reafirmando que no existe una solución única para abordar los desafíos de sostenibilidad. Este hallazgo subraya la necesidad de enfoques combinados y adaptativos, que puedan aprovechar lo mejor de cada herramienta en función del contexto particular.

Se destaca también la contribución del enfoque holístico aplicado en este estudio, donde se simplificaron las etapas del ciclo de vida a cinco principales y se filtraron las Variables de Gestión del Sistema de Infraestructura (VGSI). Este proceso permitió un análisis más específico y eficiente, enfocándose en aspectos críticos que influyen directamente en la sostenibilidad, como la reutilización de materiales y la adaptabilidad del diseño a las condiciones ambientales. Este enfoque estratégico permitió visualizar con mayor claridad las áreas de los sistemas de infraestructura que requieren mejoras y, al mismo tiempo, priorizar las intervenciones más relevantes.

Por otra parte, el desarrollo del Modelo de Dinámica de Sistemas Sostenible (MDSS) marcó un avance significativo al ofrecer una herramienta conceptual para analizar las interacciones complejas entre las etapas del ciclo de vida, las VGSI y las herramientas

sostenibles. El modelo demostró cómo las decisiones tomadas en una etapa pueden impactar significativamente otras, destacando la necesidad de una planificación integrada y consciente desde el inicio de los proyectos. A través de la representación de bucles de refuerzo y equilibrio, se identificaron puntos estratégicos donde concentrar esfuerzos para maximizar el impacto sostenible. De este modo, el MDSS no solo se presenta como un recurso valioso para la toma de decisiones informada, sino también como una guía estratégica para optimizar prácticas sostenibles.

Además, se identificó que la etapa de Planificación y Diseño (S1) desempeña un papel determinante en el éxito de los objetivos sostenibles. La incorporación temprana de herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida (LCA), BIM y Economía Circular puede marcar una diferencia significativa en la sostenibilidad general de un proyecto. Asimismo, tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y el Monitoreo de Salud Estructural (SHM) demostraron su valor en las etapas de Operación y Mantenimiento, ampliando el horizonte de posibilidades para la gestión eficiente y sostenible de los sistemas de infraestructura.

Finalmente, esta investigación no solo identificó herramientas y variables esenciales, sino que logró cerrar la brecha entre teoría y práctica. Al proporcionar soluciones tangibles y realistas, el estudio contribuye significativamente a optimizar la sostenibilidad, reducir los impactos ambientales y mejorar la gestión integral de los sistemas de infraestructura.

RECOMENDACIONES

Es crucial avanzar hacia la validación práctica del Modelo de Dinámica de Sistemas Sostenible (MDSS), un paso necesario para garantizar su aplicabilidad en escenarios reales. Para ello, se recomienda desarrollar proyectos piloto que permitan aplicar el modelo en

condiciones específicas, lo que ayudará a refinar sus componentes y evaluar su eficacia. La consulta con expertos de distintas disciplinas será igualmente importante, ya que aportará perspectivas diversas y enriquecerá la conceptualización del modelo.

Otro aspecto fundamental es trabajar en la integración tecnológica del MDSS con herramientas existentes como BIM y plataformas de gestión de proyectos. Actualmente, este proceso enfrenta desafíos técnicos significativos, debido a la necesidad de armonizar datos y tecnologías en sistemas de infraestructura que a menudo están fragmentados. Para superar estas limitaciones, será esencial fomentar la colaboración entre desarrolladores de software, ingenieros y otros actores clave del sector.

La coordinación entre los distintos actores involucrados en los proyectos de infraestructura también merece especial atención. Gobiernos, empresas privadas y comunidades deben alinearse en torno a objetivos comunes de sostenibilidad, superando diferencias de prioridades y limitaciones de recursos técnicos y financieros. En este sentido, será crucial promover una gobernanza participativa que facilite la adopción del MDSS y asegure que su implementación sea efectiva y equitativa.

Además, se recomienda explorar la adaptabilidad del MDSS a diferentes contextos geográficos y socioeconómicos, ya que esto podría ampliar significativamente su utilidad. Adaptar el modelo a realidades locales permitirá abordar problemáticas específicas y aumentar su relevancia en diversos escenarios. Por otro lado, es necesario desarrollar métricas cuantitativas que permitan evaluar el impacto del MDSS en términos de sostenibilidad. Estas métricas ofrecerán evidencia sólida sobre los beneficios del modelo, lo que facilitará su aceptación por parte de los actores involucrados y fomentará su implementación en proyectos de mayor escala.

Finalmente, es importante reflexionar sobre las limitaciones identificadas en este estudio, como la falta de validación práctica y los desafíos técnicos asociados a la integración del MDSS. Estas limitaciones, lejos de ser obstáculos, representan oportunidades para seguir mejorando el modelo y adaptarlo a las necesidades del sector. Con una planificación estratégica y un enfoque iterativo basado en la experiencia práctica, el MDSS tiene el potencial de convertirse en una herramienta clave para transformar los sistemas de infraestructura hacia un futuro más sostenible.



REFERENCIAS

- Acuña-Coll, N., & Sánchez-Silva, M. (2023). Integrating systems thinking and flexibility in infrastructure management. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8(5), 144. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01106-9>
- Adhi, A. B., & Muslim, F. (2023). The Analysis of Stakeholder Influence and Role in Implementing Sustainable Construction by Observing the Principles of Lean Construction on Infrastructure Projects in Indonesia. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 14(4).
- Aguiñaga, E., Henriques, I., Scheel, C., & Scheel, A. (2018). Building resilience: A self-sustainable community approach to the triple bottom line. *Journal of cleaner production*, 173, 186-196. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.094>
- Al Hazza, M., Muqtadar, M., Salamony, K., Bourini, I., Sakhrieh, A., & Alnahhal, M. (2023). Investigation Study of the Challenges in Green Procurement Implementation in Construction Projects in UAE. *Civil Engineering Journal*, 9, 849-859. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-04-06>
- Ammar, A., & Dadi, G. (2021). Towards an Integrated Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS) Platform for Infrastructure. ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction,
- Anejionu, O. C. D., Thakuriah, P., McHugh, A., Sun, Y., McArthur, D., Mason, P., & Walpole, R. (2019). Spatial urban data system: A cloud-enabled big data infrastructure for social and economic urban analytics. *Future Generation Computer Systems*, 98, 456-473. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.future.2019.03.052>
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia Computer Science*, 44, 669-678. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>
- Bibri, S. E. (2018). The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 38, 230-253. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.034>
- Bibri, S. E., Krogstie, J., Kaboli, A., & Alahi, A. (2024). Smarter eco-cities and their leading-edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: A comprehensive systematic review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 19, 100330. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.es.2023.100330>
- Bonenberg, W., & Wei, X. (2015). Green BIM in Sustainable Infrastructure. *Procedia Manufacturing*, 3, 1654-1659. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.483>

- Braulio-Gonzalo, M., & Bovea, M. D. (2020). Relationship between green public procurement criteria and sustainability assessment tools applied to office buildings. *Environmental Impact Assessment Review*, 81, 106310. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106310>
- Buyle, M., Braet, J., & Audenaert, A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 379-388. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001>
- Cañete, E., Chen, J., Díaz, M., Llopis, L., & Rubio, B. (2019). Wireless sensor networks and structural health monitoring: Experiences with slab track infrastructures. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(3), 1550147719826002. <https://doi.org/10.1177/1550147719826002>
- Chen, H., Dong, Y., Li, H., Tian, S., Wu, L., Li, J., & Lin, C. (2024). Optimized green infrastructure planning at the city scale based on an interpretable machine learning model and multi-objective optimization algorithm: A case study of central Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, 252, 105191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105191>
- Chen, L., Huang, L., Hua, J., Chen, Z., Wei, L., Osman, A. I., Fawzy, S., Rooney, D. W., Dong, L., & Yap, P.-S. (2023). Green construction for low-carbon cities: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1627-1657. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01544-4>
- Chen, T., Wang, M., Su, J., Ikram, R. M., & Li, J. (2023). Application of Internet of Things (IoT) Technologies in Green Stormwater Infrastructure (GSI): A Bibliometric Review. *Sustainability*, 15(18).
- Crawford, R. (2011). *Life cycle assessment in the built environment*. Routledge.
- Darko, A., Chan, A. P. C., Ameyaw, E. E., He, B.-J., & Olanipekun, A. O. (2017). Examining issues influencing green building technologies adoption: The United States green building experts' perspectives. *Energy and Buildings*, 144, 320-332.
- Diaz-Sarachaga, J. M., Jato-Espino, D., & Castro-Fresno, D. (2017). Methodology for the development of a new Sustainable Infrastructure Rating System for Developing Countries (SIRSDEC). *Environmental Science & Policy*, 69, 65-72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.010>
- Dixon, W. (2010). The impacts of construction and the built environment. *Briefing Notes*, Willmott-Dixon Group.
- Enriquez, J. A. (2023). *El medio ambiente arequipeño: Un nuevo aniversario y pocos avances*. Universidad Católica San Pablo. Retrieved 10/08 from <https://ucsp.edu.pe/noticias/el-medio-ambiente-arequipeno-un-nuevo-aniversario-y-pocos-avances/>
- Espinoza Vigil, A. J., & Carhart, N. J. (2024). Local infrastructure governance in Peru: a systems thinking appraisal. *Infrastructure Asset Management*, 40(XXXX), 1-16.

- Fathollahi, A., & Coupe, S. J. (2021). Life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC) of road drainage systems for sustainability evaluation: Quantifying the contribution of different life cycle phases. *Science of The Total Environment*, 776, 145937. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145937>
- Fernández, L., Yurivilca, R., & Minoja, L. (2019). *Edificios vs cambio climático: Construyendo adaptación y mitigación*. Inter-American Development Bank. <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/edificios-vs-cambio-climatico-construyendo-adaptacion-y-mitigacion/>
- REGLAMENTO DEL BONO MIVIVIENDA SOSTENIBLE, (2015). <https://www.mivivienda.com.pe/portalcms/archivos/documentos/8587614191668786847.pdf>
- Frangopol, D. M., Saydam, D., & Kim, S. (2012). Maintenance, management, life-cycle design and performance of structures and infrastructures: a brief review. *Structure and Infrastructure Engineering*, 8(1), 1-25. <https://doi.org/10.1080/15732479.2011.628962>
- García, J., Leiva-Araos, A., Diaz-Saavedra, E., Moraga, P., Pinto, H., & Yepes, V. (2023). Relevance of Machine Learning Techniques in Water Infrastructure Integrity and Quality: A Review Powered by Natural Language Processing. *Applied Sciences*, 13(22).
- Gbadegesin, J., Ojekalu, S., Gbadegesin, T., & Komolafe, M. (2020). Sustaining community infrastructure through community-based governance (the social practice of collective design policy). *Smart and Sustainable Built Environment, ahead-of-print*. <https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2019-0142>
- Goti, A., De la Calle, A., Gil, M. J., Errasti, A., Bom, P. R. D., & García-Bringas, P. (2018). Development and Application of an Assessment Complement for Production System Audits Based on Data Quality, IT Infrastructure, and Sustainability. *Sustainability*, 10(12).
- Gyamfi, T. A., Adjei, K. O., & Bonney, S. O. (2024). Strategies to Improve Building Construction Sustainability Through Utilization of Drones in the Building Construction Sector. *Procedia Computer Science*, 236, 209-216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.05.023>
- Habib, M., Habib, A., Albzaie, M., & Farghal, A. (2024). Sustainability benefits of AI-based engineering solutions for infrastructure resilience in arid regions against extreme rainfall events. *Discover Sustainability*, 5(1), 278. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00500-2>
- Hall, J. W., Tran, M., Hickford, A. J., & Nicholls, R. J. (2016). A system-of-systems approach. In *The Future of National Infrastructure: A System-of-Systems Approach* (pp. 1-28). Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/product/B0AD39B9777C6F5A82B952B9401D89AC>

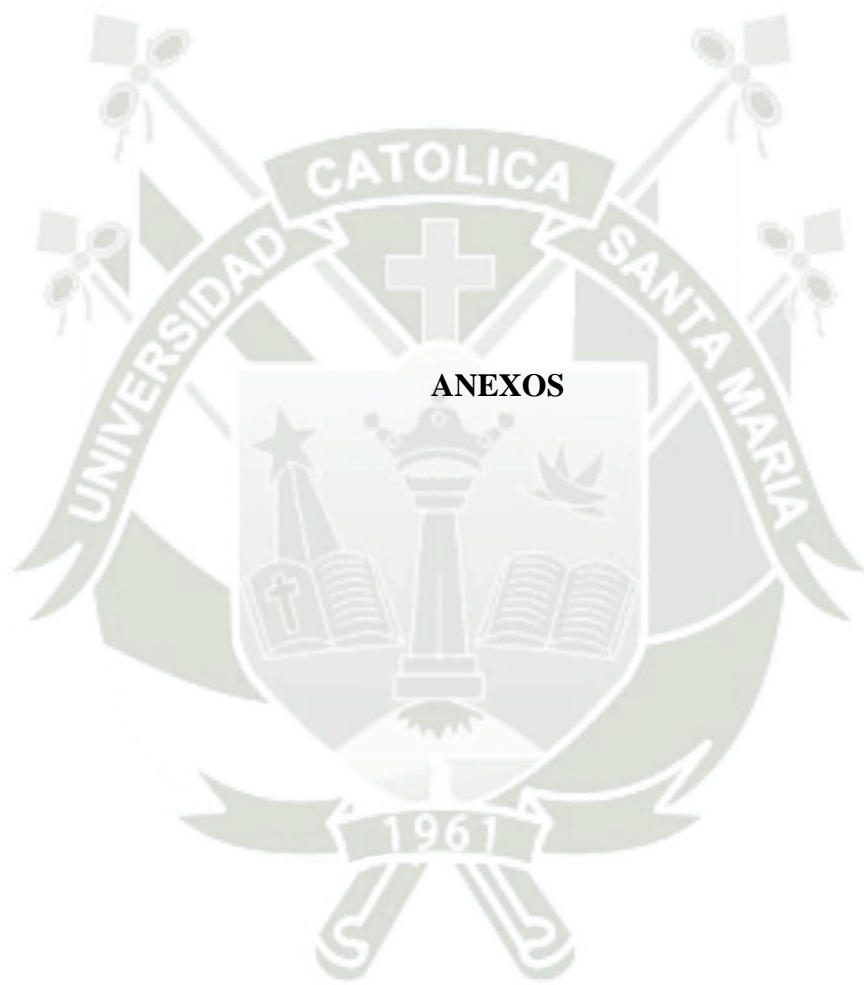
- Hellström, M., Wikström, K., & Eriksson, K. (2021). Sustainable Infrastructure Projects: Systemic versus Traditional Delivery Models. *Sustainability*, 13(11).
- IEA, I. (2021). Greenhouse gas emissions from energy data explorer. IEA,
- NTP -ISO 37106-2024 Ciudades y comunidades sostenibles. Orientaciones para el establecimiento de modelos operativos de ciudades inteligentes para comunidades sostenibles, (2024). <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2267807-1>
- ISO. (2024). *Asset management - Vocabulary, overview and principles (ISO 55000:2024)* <https://www.iso.org/standard/83053.html>
- Janjua, S., Sarker, P., & Biswas, W. (2019). A review of residential buildings' sustainability performance using a life cycle assessment approach. *Journal of Sustainability Research*, 1(1), 1-29.
- Joensuu, T., Edelman, H., & Saari, A. (2020). Circular economy practices in the built environment. *Journal of cleaner production*, 276, 124215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124215>
- Kati, V., & Jari, N. (2016). Bottom-up thinking—Identifying socio-cultural values of ecosystem services in local blue-green infrastructure planning in Helsinki, Finland. *Land Use Policy*, 50, 537-547. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.09.031>
- Kellermann, R., Biehle, T., & Fischer, L. (2020). Drones for parcel and passenger transportation: A literature review. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, 100088. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100088>
- Khanna, M., Elghaish, F., McIlwaine, S., & Brooks, T. (2021). Feasibility of implementing IPD approach for infrastructure projects in developing countries. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 902-921. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.048>
- Khodeir, L. M., & Othman, R. (2018). Examining the interaction between lean and sustainability principles in the management process of AEC industry. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 1627-1634. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.12.005>
- Kullmann, F., Markewitz, P., Stolten, D., & Robinius, M. (2021). Combining the worlds of energy systems and material flow analysis: a review. *Energy, Sustainability and Society*, 11(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00289-2>
- Kwakkel, J. H., Walker, W. E., & Marchau, V. A. W. J. (2012). Assessing the Efficacy of Dynamic Adaptive Planning of Infrastructure: Results from Computational Experiments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 39(3), 533-550. <https://doi.org/10.1068/b37151>
- Lee, P.-H., Juan, Y.-K., Han, Q., & Vries, Bauke d. (2023). An investigation on construction companies' attitudes towards importance and adoption of circular economy

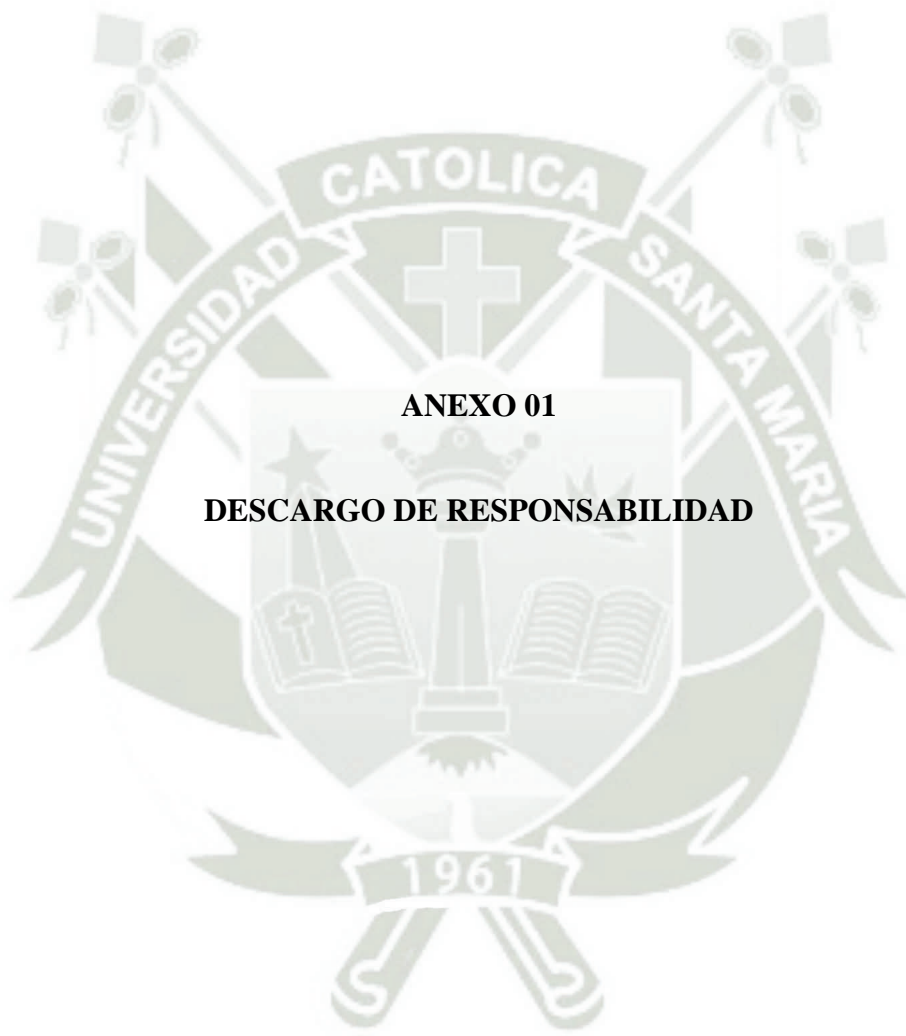
- strategies. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(12), 102219. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102219>
- Leigh, N. G., & Lee, H. (2019). Sustainable and Resilient Urban Water Systems: The Role of Decentralization and Planning. *Sustainability*, 11(3).
- Leventon, J., Abson, D. J., & Lang, D. J. (2021). Leverage points for sustainability transformations: nine guiding questions for sustainability science and practice. *Sustainability Science*, 16(3), 721-726. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00961-8>
- Li, H.-N., Ren, L., Jia, Z.-G., Yi, T.-H., & Li, D.-S. (2016). State-of-the-art in structural health monitoring of large and complex civil infrastructures. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 6(1), 3-16. <https://doi.org/10.1007/s13349-015-0108-9>
- Lu, Y., Wu, Z., Chang, R., & Li, Y. (2017). Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 83, 134-148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.024>
- Meadows, D. (2015). Leverage points-places to intervene in a system.
- Meadows, D. H. (2008). Thinking in systems: A primer. *Sustainability Institute*.
- Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad, (2022). https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_privada/planes/PNISC_2022_2025_V2.pdf
- Código Técnico de Construcción Sostenible, (2021a). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1934704/C%C3%B3digo%20-%20CTCS%20.pdf>
- Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE, (2021b). <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Montag, L., & Pettau, T. (2022). Process Performance measurement framework for circular supply chains: An updated SCOR perspective. <https://doi.org/10.55845/KAIZ3670>
- Montoya Bardalez, E. (2014). Prácticas sostenibles en la construcción de edificaciones.
- Moudgil, V., Hewage, K., Hussain, S. A., & Sadiq, R. (2023). Integration of IoT in building energy infrastructure: A critical review on challenges and solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 174, 113121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113121>
- Munawar, H. S., Ullah, F., Shahzad, D., Heravi, A., Qayyum, S., & Akram, J. (2022). Civil Infrastructure Damage and Corrosion Detection: An Application of Machine Learning. *Buildings*, 12(2).
- Na, X., Yu, F., & Fei, L. (2022). Application of Bim in the Life Cycle of Green Buildings. The International Conference on Cyber Security Intelligence and Analytics,

- Neira, E., Miranda, L., Valdivia, R., & Torres, R. (2013). Perú hacia la construcción sostenible en escenarios de cambio climático. *Investigaciones*.
- Nestebý, Å. I., Aarrestad, M. E., Lohne, J., & Bohne, R. A. (2016). Integration of BREEAM-NOR in Construction Projects: Utilizing the Last Planner System. *Energy Procedia*, 96, 100-111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.110>
- Papadopoulos, T., Gunasekaran, A., Dubey, R., Altay, N., Childe, S. J., & Fosso-Wamba, S. (2017). The role of Big Data in explaining disaster resilience in supply chains for sustainability. *Journal of cleaner production*, 142, 1108-1118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.059>
- Revelo Cáceres, N., Garcia-Martinez, A., & Gómez de Cózar, J. C. (2023). Use of GIS and BIM tools in determining the life cycle impact of urban systems. Case study: Residential buildings which apply the Eco-Efficiency Matrix in the city of Quito, Ecuador. *Journal of cleaner production*, 383, 135485. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135485>
- Reza, B., Sadiq, R., & Hewage, K. (2014). Emergy-based life cycle assessment (Em-LCA) for sustainability appraisal of infrastructure systems: a case study on paved roads. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(2), 251-266. <https://doi.org/10.1007/s10098-013-0615-5>
- Robichaud, L. B., & Anantatmula, V. S. (2011). Greening project management practices for sustainable construction. *Journal of management in engineering*, 27(1), 48-57.
- Röck, M., Hollberg, A., Habert, G., & Passer, A. (2018). LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. *Building and environment*, 140, 153-161.
- Salazar, L. A., Arroyo, P., & Alarcón, L. F. (2020). Key Indicators for Linguistic Action Perspective in the Last Planner® System. *Sustainability*, 12(20).
- Sánchez-Silva, M. (2019). Managing Infrastructure Systems through Changeability. *Journal of Infrastructure Systems*, 25(1), 04018040. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000467](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000467)
- Scrivener, K., Packham, J., & Shell, S. (2023, 14/11/2023). Este nuevo material podría reducir un 40% las emisiones de CO2 del cemento de aquí a 2030. <https://centres.weforum.org/centre-for-energy-and-materials/home>
- Serebrisky, T., Bricchetti, J. P., Blackman, A., & Moreira, M. M. (2020). Infraestructura sostenible y digital para impulsar la recuperación económica post COVID-19 de América Latina y el Caribe: un camino hacia más empleo, integración y crecimiento. *Monografía*, 832.
- Shaamala, A., Yigitcanlar, T., Nili, A., & Nyandega, D. (2024). Algorithmic green infrastructure optimisation: Review of artificial intelligence driven approaches for tackling climate change. *Sustainable Cities and Society*, 101, 105182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105182>

- Shariat, R., Roozbahani, A., & Ebrahimian, A. (2019). Risk analysis of urban stormwater infrastructure systems using fuzzy spatial multi-criteria decision making. *Science of The Total Environment*, 647, 1468-1477. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.074>
- Shen, L.-y., Tam, V. W., Tam, L., & Ji, Y.-b. (2010). Project feasibility study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice. *Journal of cleaner production*, 18(3), 254-259.
- Sitzenfrei, R., Kleidorfer, M., Bach, P. M., & Bacchin, T. K. (2020). Green Infrastructures for Urban Water System: Balance between Cities and Nature. *Water*, 12(5).
- Sterman, J. (2002). *System Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*.
- Tafazzoli, M., Mousavi, E., & Kermanshachi, S. (2020). Opportunities and Challenges of Green-Lean: An Integrated System for Sustainable Construction. *Sustainability*, 12(11).
- Thacker, S., Adshead, D., Fay, M., Hallegatte, S., Harvey, M., Meller, H., O'Regan, N., Rozenberg, J., Watkins, G., & Hall, J. W. (2019). Infrastructure for sustainable development. *Nature Sustainability*, 2(4), 324-331. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0256-8>
- UNEP. (2023). Emissions gap report 2023: broken record—temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again). In: United Nations Environment Programme Nairobi.
- Valencia-Félix, S., Anco-Valdivia, J., Espinoza Vigil, A. J., Hidalgo Valdivia, A. V., & Sanchez-Carigga, C. (2024). Review of Green Water Systems for Urban Flood Resilience: Literature and Codes. *Water*, 16(20).
- Valencia, A., Zhang, W., & Chang, N.-B. (2022). Sustainability transitions of urban food-energy-water-waste infrastructure: A living laboratory approach for circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 177, 105991. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105991>
- Van Breugel, K. (2017). Ageing infrastructure and circular economy: challenges and risks. Proceedings of the 2nd world congress on civil, structural, and environmental engineering (CSEE'17),
- Vo, H. V., Chae, B., & Olson, D. L. (2002). DYNAMIC MCDM: THE CASE OF URBAN INFRASTRUCTURE DECISION MAKING. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 01(02), 269-292. <https://doi.org/10.1142/S0219622002000166>
- Von der Tann, L., Sterling, R., Zhou, Y., & Metje, N. (2020). Systems approaches to urban underground space planning and management—A review. *Underground space*, 5(2), 144-166.
- Wall Thomas, A., Walker Warren, E., Marchau Vincent, A. W. J., & Bertolini, L. (2015). Dynamic Adaptive Approach to Transportation-Infrastructure Planning for Climate

- Change: San-Francisco-Bay-Area Case Study. *Journal of Infrastructure Systems*, 21(4), 05015004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000257](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000257)
- Wang, G., & Ke, J. (2024). Literature Review on the Structural Health Monitoring (SHM) of Sustainable Civil Infrastructure: An Analysis of Influencing Factors in the Implementation. *Buildings*, 14(2).
- Wang, X., & Chi, C. (2016). Global city indicators: towards a holistic view of low carbon city dimensions. *Energy Procedia*, 88, 168-175.
- Whitehurst, D., Friedman, B., Kochersberger, K., Sridhar, V., & Weeks, J. (2021). Drone-Based Community Assessment, Planning, and Disaster Risk Management for Sustainable Development. *Remote Sensing*, 13(9).
- Wibowo, M. A., & Sholeh, M. N. (2017). Application of supply chain performance measurement in scor model at building project. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 3(1), 60-64.
- Withanage, S. V., & Habib, K. (2021). Life Cycle Assessment and Material Flow Analysis: Two Under-Utilized Tools for Informing E-Waste Management. *Sustainability*, 13(14).
- Xu, Z., Wang, X., Zhou, W., & Yuan, J. (2019). Study on the evaluation method of green construction based on ontology and BIM. *Advances in Civil Engineering*, 2019(1), 5650463.
- Zhang, W., Zhu, S., Zhang, X., & Zhao, T. (2020). Identification of critical causes of construction accidents in China using a model based on system thinking and case analysis. *Safety Science*, 121, 606-618. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.04.038>
- Zubair, M. U., Ali, M., Khan, M. A., Khan, A., Hassan, M. U., & Tanoli, W. A. (2024). BIM- and GIS-Based Life-Cycle-Assessment Framework for Enhancing Eco Efficiency and Sustainability in the Construction Sector. *Buildings*, 14(2), 360. <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/2/360>





ANEXO 01

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

La presente investigación fue financiada por el Vicerrectorado de Investigación

de la Universidad Católica de Santa María

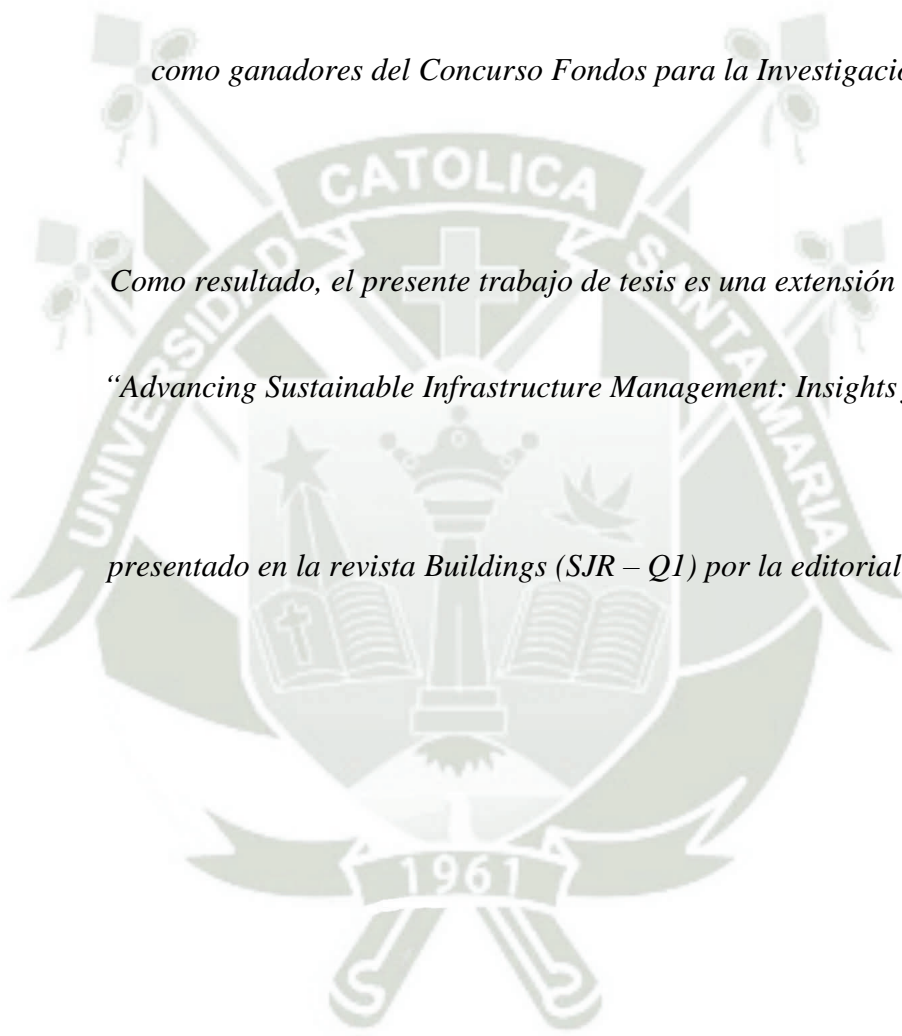
al haber sido acreedores de S/ 100,000.00

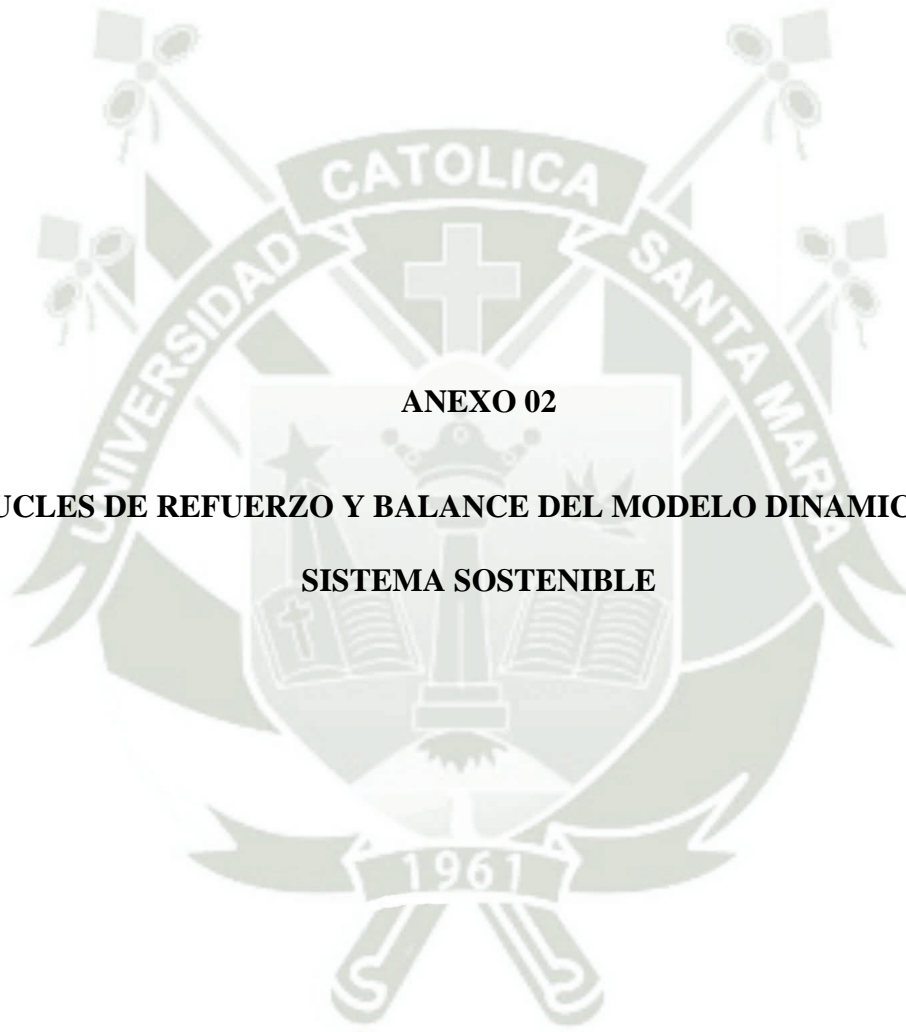
como ganadores del Concurso Fondos para la Investigación 2023 – II.

Como resultado, el presente trabajo de tesis es una extensión del artículo:

*“Advancing Sustainable Infrastructure Management: Insights from System
Dynamics”*

presentado en la revista Buildings (SJR – Q1) por la editorial suiza MDPI



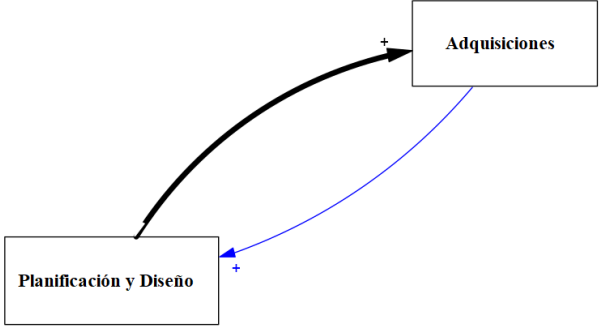
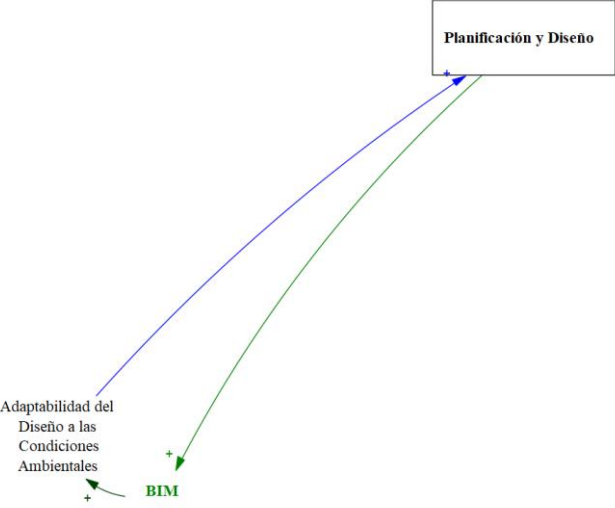


ANEXO 02

**BUCLES DE REFUERZO Y BALANCE DEL MODELO DINAMICO DE
SISTEMA SOSTENIBLE**

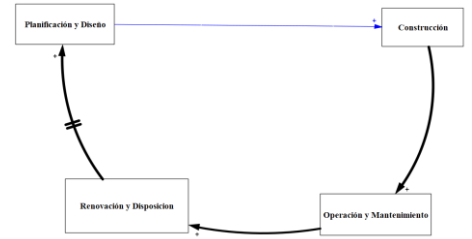
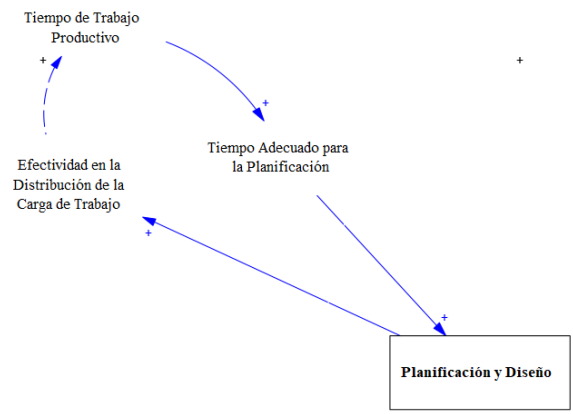
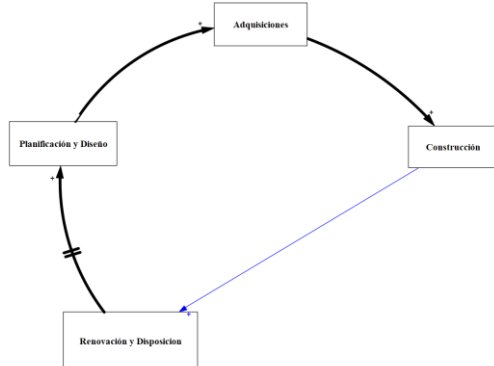
Tabla 8: Bucles de refuerzo y balance del Modelo Dinámico de Sistema Sostenible

ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
R0		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>Adquisiciones (+)</p> <hr/> <p>Construcción (+)</p> <hr/> <p>Operación y Mantenimiento (+)</p> <hr/> <p>Renovación y Disposición (+)</p>	<p>En la “Planificación y Diseño”, se establecen criterios claros y estrategias integrales que optimizan la eficiencia y sostenibilidad del proyecto. Esto facilita la etapa de “Adquisiciones”, al permitir una selección más eficiente de materiales, recursos y tecnologías. Durante la “Construcción”, estas decisiones iniciales reducen incertidumbres y mejoran la ejecución. Una construcción bien planificada impacta directamente en una “Operación y Mantenimiento” más eficiente y duradera, minimizando costos y maximizando el desempeño de la infraestructura. Al llegar a la fase de “Renovación y Disposición”, los aprendizajes obtenidos y los recursos recuperados retroalimentan la “Planificación y Diseño”, impulsando mejores prácticas y estándares en futuros proyectos. Este ciclo continuo refuerza cada fase, generando un crecimiento acumulativo en el sistema sin mecanismos internos que lo estabilicen.</p>
R1		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>Renovación y Disposición (+)</p>	<p>Al incorporar en la “Planificación y Diseño” materiales reciclables y tecnologías eficientes, se facilita en la “Renovación y Disposición” la recuperación y reutilización de recursos. Estos materiales y aprendizajes vuelven a integrarse en nuevos proyectos, mejorando estándares de sostenibilidad y reduciendo costos. Este ciclo refuerza continuamente el sistema, promoviendo un crecimiento sostenido.</p>

ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
R2		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>Adquisiciones (+)</p>	<p>En la fase de “Planificación y Diseño”, al priorizar criterios sostenibles, como el uso de materiales de bajo impacto ambiental y tecnologías innovadoras, se mejora la calidad y especificidad de las “Adquisiciones”. Estas adquisiciones bien dirigidas, a su vez, proveen recursos óptimos que retroalimentan la planificación, permitiendo incorporar nuevos aprendizajes y mejores prácticas. Este ciclo continuo de mejora asegura que cada iteración fortalezca ambas fases, creando un sistema de crecimiento sostenido. La falta de enlaces negativos que limiten el progreso refuerza la naturaleza acumulativa de este bucle.</p>
R3		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>BIM (+)</p> <hr/> <p>Adaptabilidad del Diseño a las Condiciones Ambientales (+)</p>	<p>Se puede observar en el diseño de edificios inteligentes utilizando tecnologías "BIM", en la fase de “Planificación y Diseño”, el uso de "BIM" permite modelar detalladamente las características del proyecto, integrando datos ambientales como luz solar, vientos predominantes y eficiencia energética. Esta información impulsa la “Adaptabilidad del Diseño a las Condiciones Ambientales”, optimizando el desempeño del edificio en función de su entorno, este diseño adaptado retroalimenta la “Planificación y Diseño”, proporcionando mejores datos y metodologías para futuros proyectos.</p>
R4		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>Construcción (+)</p>	<p>Una “Planificación y Diseño” adecuada establece criterios claros, como el uso de materiales de alta calidad y técnicas constructivas avanzadas, lo que facilita una “Construcción” eficiente, con menos errores y mayor durabilidad.</p>

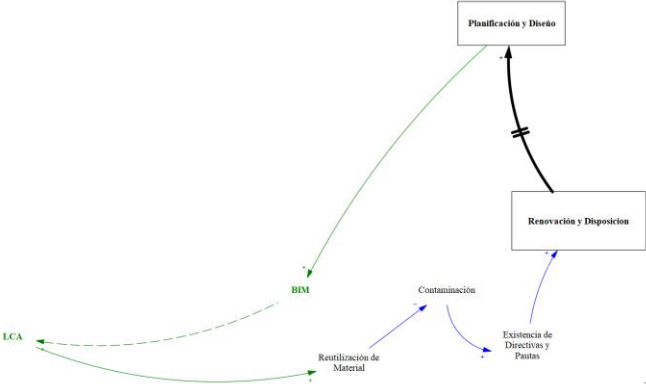
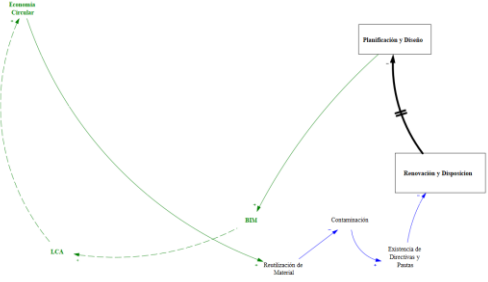
ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
		Renovación y Disposición (+)	<p>Posteriormente, al llegar a la fase de “Renovación y Disposición”, la calidad inicial de la construcción permite procesos más efectivos, como el reciclaje de materiales o la reutilización de componentes estructurales, minimizando costos y residuos. Estos aprendizajes, junto con los datos recopilados sobre el comportamiento de los materiales en uso, retroalimentan la “Planificación y Diseño” de futuros proyectos, mejorando continuamente los estándares de calidad y sostenibilidad.</p>
R5		Planificación y Diseño (+) Adquisiciones (+) Renovación y Disposición (+)	<p>Una “Planificación y Diseño” eficaz prioriza criterios como el uso de materiales reciclables y tecnologías limpias, lo que mejora la eficiencia en las “Adquisiciones”, permitiendo obtener insumos de alta calidad, como paneles solares o sistemas de aislamiento térmico avanzados. Estos insumos de calidad impactan directamente en la “Renovación y Disposición”, facilitando procesos como el reciclaje de materiales y la reducción de desechos al final del ciclo de vida del edificio. Además, la experiencia adquirida y los datos recopilados en esta etapa retroalimentan la “Planificación y Diseño” en futuros proyectos, permitiendo decisiones más informadas y sostenibles.</p>
R6		Planificación y Diseño (+) Operación y Mantenimiento (+) Renovación y Disposición (+)	<p>Una mejora en la “Planificación y Diseño”, como la integración de análisis de costos y proyecciones de uso a largo plazo, optimiza los procesos de “Operación y Mantenimiento”. Esto resulta en un uso más eficiente de recursos, reducción de costos operativos y una mayor durabilidad de la infraestructura. A su vez, esta operación eficiente permite una “Renovación y Disposición” más efectiva, con una mejor gestión de materiales reutilizables, tecnologías y conocimientos adquiridos. Estos aprendizajes y recursos recuperados retroalimentan la “Planificación y Diseño” en futuros proyectos, facilitando decisiones más informadas y eficientes.</p>

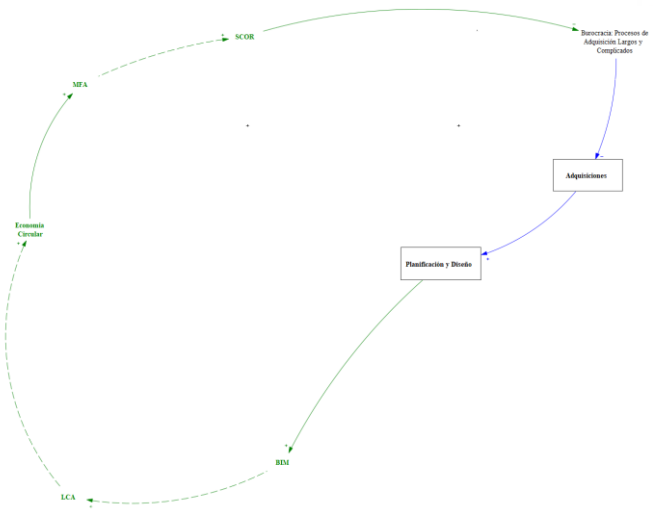
ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
B1		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>Adquisiciones (+)</p> <hr/> <p>Construcción (+)</p> <hr/> <p>Necesidad de reconstrucción (+)</p> <hr/> <p>Modificaciones al Diseño Inicial (-)</p>	<p>A medida que mejora la “Planificación y Diseño”, se optimizan las “Adquisiciones”, lo que debería llevar a una “Construcción” más eficiente. Sin embargo, si la construcción presenta deficiencias debido a errores de ejecución o materiales inadecuados, se incrementa la “Necesidad de reconstrucción”. Esta necesidad de reconstrucción genera “Modificaciones al Diseño Inicial”, introduciendo ajustes para corregir fallas o adaptarse a condiciones no previstas. Estas modificaciones impactan negativamente la “Planificación y Diseño” original, al requerir re-trabajos y esfuerzos adicionales, ralentizando el crecimiento inicial. De este modo, el sistema se autorregula, alcanzando un equilibrio que evita un desarrollo descontrolado y refleja la importancia de una buena ejecución en la fase de construcción.</p>
R7		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>Adquisiciones (+)</p> <hr/> <p>Operación y Mantenimiento (+)</p> <hr/> <p>Renovación y Disposición (+)</p>	<p>Una mejora en la “Planificación y Diseño” permite realizar “Adquisiciones” más adecuadas, como seleccionar materiales duraderos y tecnologías eficientes. Esto impacta positivamente la “Operación y Mantenimiento”, reduciendo fallos y optimizando el uso de recursos como energía y mano de obra. A su vez, una operación eficiente facilita una “Renovación y Disposición” más efectiva, ya que los datos generados y la calidad de los materiales permiten procesos más organizados y sostenibles. Estos aprendizajes y recursos recuperados retroalimentan la “Planificación y Diseño” de futuros proyectos, mejorando continuamente la toma de decisiones.</p>
R8		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>Construcción (+)</p>	<p>Una mejora en la “Planificación y Diseño”, como la integración de modelos más precisos y estrategias bien definidas, impulsa una “Construcción” más eficiente, reduciendo errores y optimizando recursos.</p> <p>Esta construcción bien ejecutada impacta positivamente en la “Operación y Mantenimiento”, que se beneficia de estructuras más</p>

ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
		<p>Operación y Mantenimiento (+)</p> <hr/> <p>Renovación y Disposición (+)</p>	<p>duraderas y sistemas más fáciles de gestionar, reduciendo el desgaste y los costos operativos. Como resultado, la fase de “Renovación y Disposición” se ve optimizada, al contar con datos y materiales recuperables que facilitan su gestión. Estos aprendizajes y recursos retroalimentan la “Planificación y Diseño”, permitiendo decisiones más informadas y efectivas en futuros proyectos.</p>
R9		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>Efectividad en la Distribución de la Carga de Trabajo (+)</p> <hr/> <p>Tiempo de Trabajo Productivo (+)</p> <hr/> <p>Tiempo Adecuado para la Planificación (+)</p>	<p>Una mejora en la “Planificación y Diseño”, como una mejor distribución de tareas y definición de prioridades, permite una mayor “Efectividad en la Distribución de la Carga de Trabajo”. Esto reduce tiempos muertos y conflictos, incrementando el “Tiempo de Trabajo Productivo”. Con más tiempo productivo disponible, se genera un “Tiempo Adecuado para la Planificación”, que permite revisar, ajustar y optimizar las estrategias iniciales. Este tiempo adicional de planificación mejora aún más la “Planificación y Diseño” para futuras iteraciones, reforzando la calidad y efectividad del proceso.</p>
R10		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>Adquisiciones (+)</p> <hr/> <p>Construcción (+)</p> <hr/> <p>Renovación y Disposición (+)</p>	<p>Al mejorar la “Planificación y Diseño”, se optimizan las “Adquisiciones”, obteniendo materiales y tecnologías más adecuados y de mejor calidad. Esto impacta directamente en una “Construcción” más eficiente, reduciendo errores y acelerando los tiempos de ejecución. Una construcción eficiente facilita la “Renovación y Disposición”, ya que los recursos pueden recuperarse o disponerse de manera más efectiva, y los datos generados durante el proceso proporcionan información valiosa sobre desempeño y mejoras posibles. Esta información retroalimenta la “Planificación y Diseño”, perfeccionando decisiones futuras y cerrando el ciclo de mejora continua.</p>

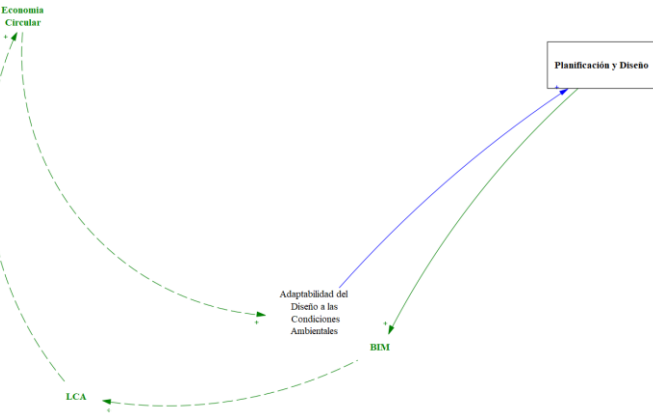
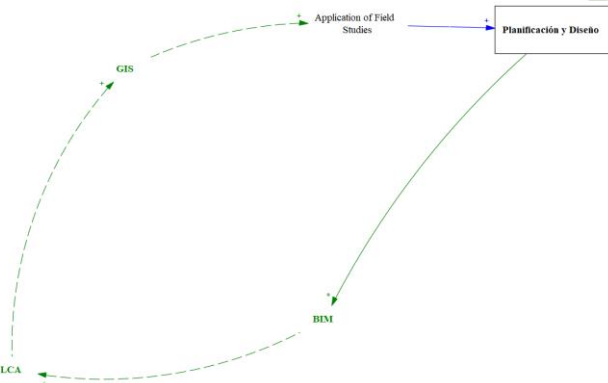
ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
B2		Planificación y Diseño (+) <hr/> BIM (+) <hr/> LCA (+) <hr/> Preservación de la Infraestructura Existente (-)	Una mejora en la “Planificación y Diseño” promueve un mayor uso de herramientas como "BIM" y “LCA”, lo que permite optimizar el diseño y seleccionar estrategias más sostenibles. Esto, a su vez, incrementa la “Preservación de la Infraestructura Existente”, ya que se prioriza el mantenimiento y reutilización de recursos antes de recurrir a nuevas construcciones. Sin embargo, al priorizar la preservación de la infraestructura existente, disminuye la necesidad de nuevas fases de diseño, reduciendo la demanda sobre la “Planificación y Diseño”. Esto actúa como un contrapeso que estabiliza el sistema y promueve el equilibrio a largo plazo.
R11		Planificación y Diseño (+) <hr/> BIM (+) <hr/> LCA (+) <hr/> Priorización de Nueva Infraestructura (-) <hr/> Preservación de la Infraestructura Existente (-)	Si la “Planificación y Diseño” mejora, fomenta el uso más eficiente de “BIM”, lo que a su vez optimiza el “LCA”. Este mejor análisis tiende a priorizar nueva infraestructura, pero esta priorización reduce la “Preservación de la Infraestructura Existente”, generando una presión negativa que obliga a ajustes en la planificación inicial. Sin embargo, al existir dos eslabones negativos, el bucle sigue siendo de refuerzo, intensificando la dinámica inicial. Esto crea un patrón donde, pese a las correcciones, el sistema amplifica sus condiciones iniciales: mejores diseños generan mayor demanda de nueva infraestructura, lo que impulsa ajustes y nuevas mejoras en el diseño, fortaleciendo el ciclo.
B3		Planificación y Diseño (+) <hr/> BIM (+) <hr/> Adaptabilidad del Diseño a las Condiciones Ambientales (+)	“Planificación y Diseño”, adoptando herramientas como "BIM" que facilitan un análisis detallado de los proyectos. Esto incrementa la “Adaptabilidad del Diseño a las Condiciones Ambientales”, permitiendo, por ejemplo, optimizar la iluminación natural y la ventilación. A su vez, estas mejoras en el diseño impactan positivamente en el “LCA”, proporcionando una evaluación más precisa del impacto ambiental y los costos a lo largo de la vida útil de la infraestructura. Esto impulsa a la “Economía Circular”,

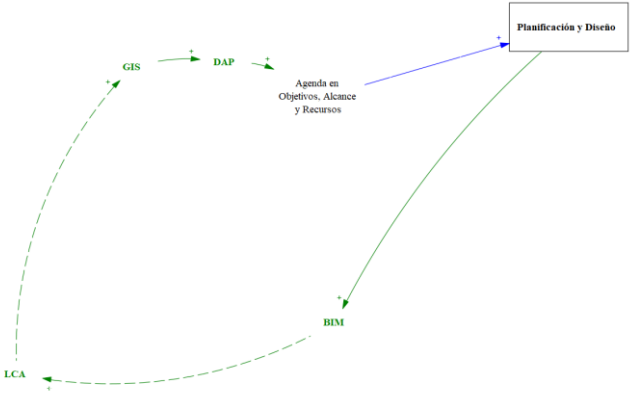
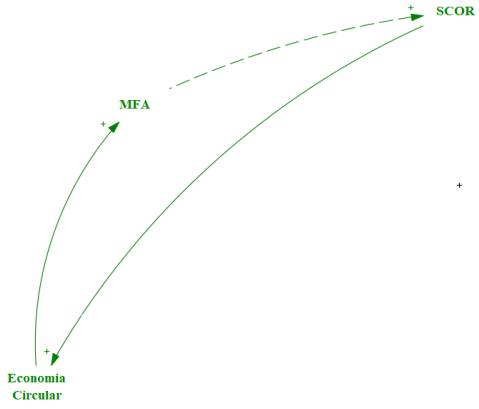
ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
		LCA (+) Economía Circular (+) Preservación de la Infraestructura Existente (-)	fomentando la reutilización de materiales y la reducción de residuos. Como resultado, se prioriza la “Preservación de la Infraestructura Existente”, enfocándose en mantener y mejorar las infraestructuras actuales en lugar de reemplazarlas. Sin embargo, esta preservación ejerce una influencia negativa sobre la “Planificación y Diseño”, ya que demuestra que no siempre es necesario diseñar y construir nuevas infraestructuras. Esto introduce un contrapeso que modera el ritmo de nuevos proyectos.
R12		Planificación y Diseño (+) BIM (+) LCA (+) Eficiencia y Durabilidad de los Recursos Operativos (+) Operación y Mantenimiento (+) Renovación y Disposición (+)	La mejora de “Planificación y Diseño”, adoptando herramientas como "BIM" para integrar datos desde el inicio. Esto optimiza el “LCA”, seleccionando materiales más sostenibles y eficientes, lo que incrementa la “Eficiencia y Durabilidad de los Recursos Operativos”. Como resultado, la “Operación y Mantenimiento” se vuelve más efectiva, reduciendo fallas y costos. Finalmente, una “Renovación y Disposición” bien gestionada recupera recursos y genera datos valiosos que retroalimentan la “Planificación y Diseño”, cerrando un ciclo de mejora continua que refuerza cada etapa sin límites internos.
R13		Planificación y Diseño (+) BIM (+) LCA (+) Economía Circular (+)	Una mejora en la “Planificación y Diseño” permite adoptar herramientas como "BIM", que facilitan un “LCA” más detallado para evaluar materiales y procesos con precisión. Este análisis impulsa la “Economía Circular”, reduciendo residuos y promoviendo la reutilización de recursos. Gracias a estos avances, se implementa más “Mantenimiento Preventivo”, asegurando que los sistemas operen con mayor eficiencia y menos interrupciones. Esto mejora directamente la “Operación y Mantenimiento”, optimizando los costos y la

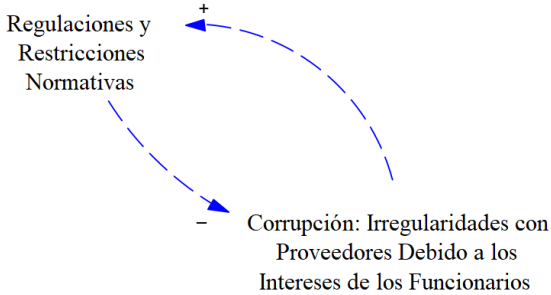
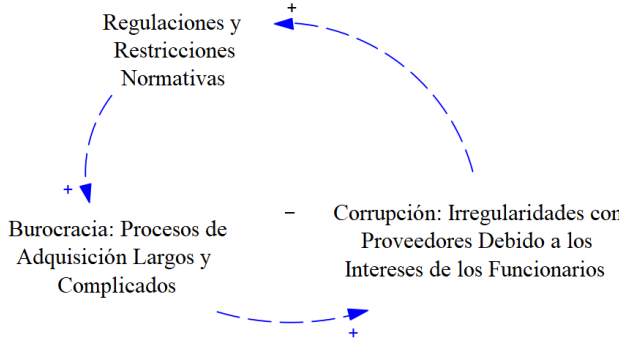
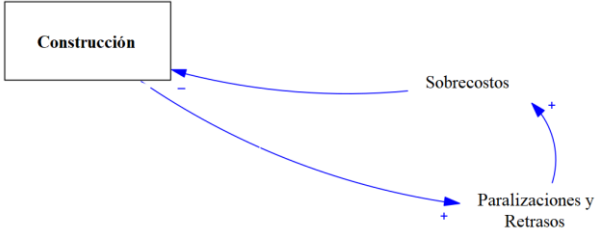
ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
		Mantenimiento Preventivo (+) Operación y Mantenimiento (+) Renovación y Disposición (+)	funcionalidad de la infraestructura. A su vez, una “Renovación y Disposición” más eficiente recupera materiales y genera información clave que retroalimenta la “Planificación y Diseño”, permitiendo decisiones más informadas y sostenibles en futuros proyectos.
B4	 <p>El diagrama de flujo para B4 muestra un ciclo de retroalimentación. 'Planificación y Diseño' impulsa 'Renovación y Disposición' (línea sólida). 'Renovación y Disposición' impulsa 'BIM' (línea sólida). 'BIM' impulsa 'LCA' (línea sólida). 'LCA' impulsa 'Reutilización de Material' (línea sólida). 'Reutilización de Material' impulsa 'Contaminación' (línea sólida). 'Contaminación' impulsa 'Existencia de Directivas y Pautas' (línea sólida). 'Existencia de Directivas y Pautas' impulsa 'Renovación y Disposición' (línea sólida). Además, 'Existencia de Directivas y Pautas' impulsa 'Planificación y Diseño' (línea sólida). 'Reutilización de Material' impulsa 'BIM' (línea sólida). 'Contaminación' impulsa 'LCA' (línea sólida). 'Existencia de Directivas y Pautas' impulsa 'LCA' (línea sólida).</p>	Planificación y Diseño (+) BIM (+) LCA (+) Reutilización de Material (-) Contaminación (+) Existencia de Directivas y Pautas (+) Renovación y Disposición (+)	Una mejora en la “Planificación y Diseño” impulsa la adopción de herramientas como "BIM", que a su vez permite realizar un “LCA” más preciso, optimizando la selección de materiales y técnicas. Esto fomenta una mayor “Reutilización de Material”, al priorizar la recuperación y reutilización sobre el desecho. La mayor reutilización reduce la “Contaminación”, ya que menos residuos terminan en vertederos o se emiten al medio ambiente. Sin embargo, esta reducción en la contaminación incentiva la creación o fortalecimiento de “Directivas y Pautas”, como normativas que fomenten prácticas más sostenibles. Estas directivas, a su vez, facilitan y mejoran la “Renovación y Disposición”, haciendo que los recursos recuperados y las mejores prácticas generen aprendizajes clave para retroalimentar la “Planificación y Diseño” inicial.
B5	 <p>El diagrama de flujo para B5 muestra un ciclo de retroalimentación similar al de B4, pero con un elemento adicional: 'Economía Circular'. 'Economía Circular' impulsa 'LCA' (línea sólida). 'LCA' impulsa 'Reutilización de Material' (línea sólida). 'Reutilización de Material' impulsa 'Contaminación' (línea sólida). 'Contaminación' impulsa 'Existencia de Directivas y Pautas' (línea sólida). 'Existencia de Directivas y Pautas' impulsa 'Renovación y Disposición' (línea sólida). 'Renovación y Disposición' impulsa 'BIM' (línea sólida). 'BIM' impulsa 'LCA' (línea sólida). 'LCA' impulsa 'Economía Circular' (línea sólida). 'Economía Circular' impulsa 'LCA' (línea sólida). 'Existencia de Directivas y Pautas' impulsa 'Planificación y Diseño' (línea sólida). 'Reutilización de Material' impulsa 'BIM' (línea sólida). 'Contaminación' impulsa 'LCA' (línea sólida). 'Existencia de Directivas y Pautas' impulsa 'LCA' (línea sólida).</p>	Planificación y Diseño (+) BIM (+) LCA (+) Economía Circular (+)	Una mejora en la “Planificación y Diseño” lleva a un uso más eficiente de "BIM", que facilita un “LCA” más detallado. Este análisis impulsa la “Economía Circular”, promoviendo la “Reutilización de Material” al priorizar la recuperación y el uso eficiente de recursos. A medida que aumenta la reutilización, la “Contaminación” disminuye, ya que se generan menos residuos y emisiones. La disminución en la contaminación motiva la “Existencia de Directivas y Pautas” más estrictas, que fomentan prácticas

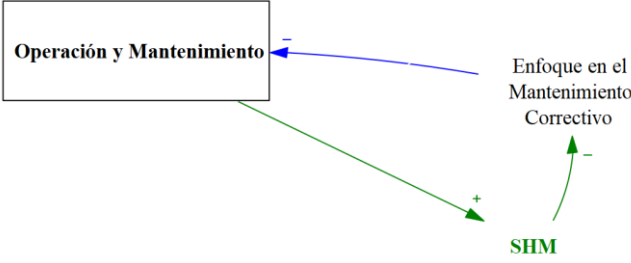
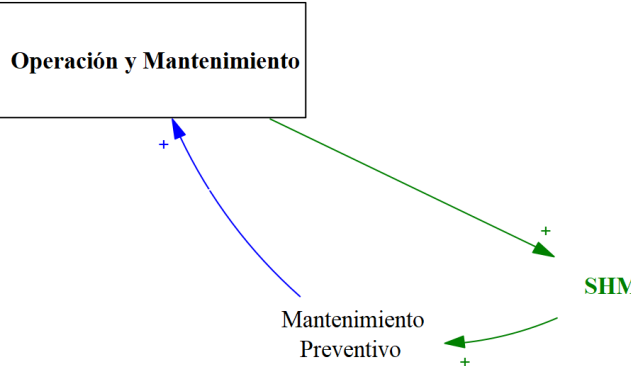
ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
		Reutilización de Material (-) Contaminación (+) Existencia de Directivas y Pautas (+) Renovación y Disposición (+)	sostenibles y mejoran la “Renovación y Disposición” de infraestructuras. Esto genera aprendizajes y recursos que retroalimentan positivamente la “Planificación y Diseño”, cerrando el ciclo.
R14	 <p>El diagrama muestra un ciclo de retroalimentación. En el centro superior hay un recuadro 'Planificación y Diseño'. Una flecha azul apunta hacia abajo a un recuadro 'Adquisiciones'. Desde 'Adquisiciones', una flecha azul apunta hacia arriba a un recuadro 'Burocracia, Procesos de Adquisición Largos y Complicados'. Una flecha verde curva desde 'Burocracia...' hacia la izquierda a un recuadro 'SCOR'. Desde 'SCOR', una flecha verde curva hacia abajo a un recuadro 'MFA'. Desde 'MFA', una flecha verde curva hacia abajo a un recuadro 'Economía Circular'. Desde 'Economía Circular', una flecha verde curva hacia abajo a un recuadro 'LCA'. Desde 'LCA', una flecha verde curva hacia arriba a un recuadro 'BIM'. Desde 'BIM', una flecha verde curva hacia arriba a un recuadro 'Planificación y Diseño', completando el ciclo.</p>	Planificación y Diseño (+) BIM (+) LCA (+) Economía Circular (+) MFA (+) SCOR (-) Burocracia: Procesos de Adquisición Largos y Complicados (-) Adquisiciones (+)	Una mejora en la “Planificación y Diseño” impulsa la integración de herramientas como "BIM, lo que permite realizar un “LCA” (Análisis de Ciclo de Vida) más completo. Esto fortalece la “Economía Circular” al fomentar prácticas como la reutilización y reciclaje de materiales, mientras optimiza la gestión de recursos mediante el uso de “MFA”. Con un mejor "MFA", se mejora el “SCOR”, lo que hace que las operaciones de la cadena de suministro sean más eficientes y transparentes. Sin embargo, un "SCOR" optimizado reduce la “Burocracia en los procesos de adquisición”, y esta burocracia dificulta las “Adquisiciones”, ya que las mejoras en las adquisiciones y la cadena de suministro continúan alimentando positivamente la “Planificación y Diseño”. Como resultado, el sistema refuerza continuamente sus propias mejoras

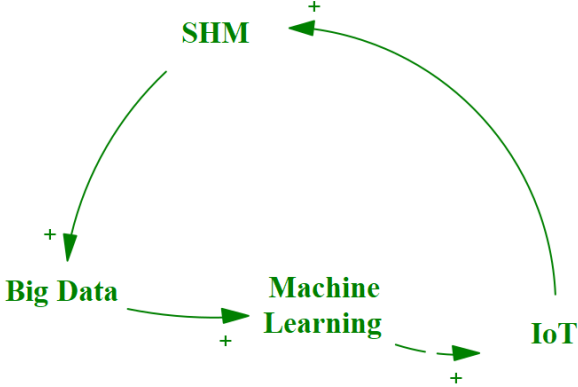
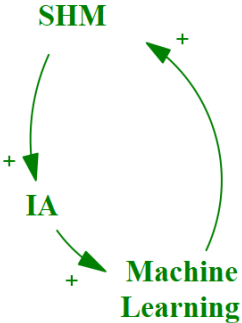
ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
B6		<p>Asuntos Legales (+)</p> <hr/> <p>Reconocimiento de la Importancia de Desarrollar Perfiles de Proyectos (+)</p> <hr/> <p>Conocimiento de Permisos/Autorizaciones y Regulaciones (-)</p>	<p>Una gestión eficiente de los “Asuntos Legales” destaca la necesidad de “Desarrollar Perfiles de Proyectos”, asegurando que los proyectos estén bien definidos para minimizar riesgos legales. Este reconocimiento impulsa un mayor “Conocimiento de Permisos/Autorizaciones y Regulaciones”, ya que los equipos buscan cumplir con las normativas aplicables. Sin embargo, un mayor conocimiento normativo puede complicar los “Asuntos Legales”, al revelar requisitos adicionales o interpretaciones más estrictas. Este efecto moderador introduce un freno, evitando que se desarrollen proyectos mal perfilados o sin un marco normativo claro.</p>
R15		<p>Asuntos Legales (+)</p> <hr/> <p>Reconocimiento de la Importancia de Desarrollar Perfiles de Proyectos (+)</p>	<p>Una adecuada gestión de los “Asuntos Legales” incrementa el “Reconocimiento de la Importancia de Desarrollar Perfiles de Proyectos”, fomentando que los proyectos estén mejor preparados desde el punto de vista legal. Este reconocimiento impulsa una mayor atención en los aspectos normativos y regulatorios, asegurando un cumplimiento más sólido y reduciendo riesgos legales.</p>
R16		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>BIM (+)</p> <hr/> <p>LCA (+)</p> <hr/> <p>Adaptabilidad del Diseño a las Condiciones Ambientales (+)</p>	<p>A medida que mejora la planificación, se utiliza más eficientemente el "BIM", lo que facilita un análisis integral del proyecto "LCA" y aumenta la "adaptabilidad a las condiciones ambientales". Este incremento en adaptabilidad proporciona información valiosa que vuelve a impulsar la planificación, cerrando el círculo sin la presencia de ningún factor que frene o modere el crecimiento. Por ello, el sistema tiende a una mejora continua y sostenida.</p>

ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
R17		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>BIM (+)</p> <hr/> <p>LCA (+)</p> <hr/> <p>Economía Circular (+)</p> <hr/> <p>Adaptabilidad del Diseño a las Condiciones Ambientales (+)</p>	<p>La mejora en “Planificación y Diseño” potencia la aplicación de “BIM”, lo que facilita un “LCA” más preciso. Esto impulsa la “Economía Circular”, promoviendo la optimización de recursos y la reducción de desechos, al tiempo que mejora la “Adaptabilidad del Diseño a las Condiciones Ambientales”, cerrando el círculo al proporcionar información valiosa que retroalimenta positivamente la etapa de planificación.</p>
R18		<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>BIM (+)</p> <hr/> <p>LCA (+)</p> <hr/> <p>GIS (+)</p> <hr/> <p>Aplicación de Estudios de Campo (+)</p>	<p>Una mejora en la “Planificación y Diseño” promueve un uso más efectivo de “BIM”, facilitando un análisis más detallado del ciclo de vida “LCA”. Este análisis integral aporta datos clave sobre impactos ambientales y consumo de recursos, que pueden ser integrados en “GIS”. El "LCA" impacta al "GIS" al proporcionarle información sobre zonas críticas en términos de sostenibilidad, como emisiones altas, recursos escasos o áreas con impacto ambiental significativo. Esto permite que el "GIS" visualice y planifique espacialmente intervenciones más precisas, optimizando el diseño y mitigando impactos. Con esta planificación geoespacial enriquecida, se incentiva la “Aplicación de Estudios de Campo” más dirigidos y productivos, generando datos y conclusiones que fortalecen la “Planificación y Diseño” inicial.</p>

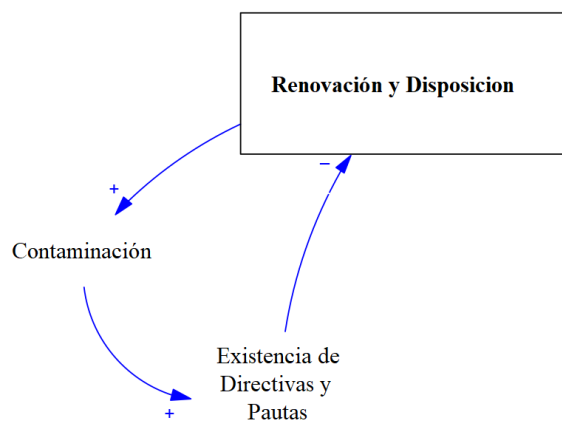
ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
R19	 <p>El diagrama muestra un ciclo de retroalimentación. En la parte superior, un recuadro 'Planificación y Diseño' tiene una flecha azul que apunta a 'Agenda en Objetivos, Alcance y Recursos'. Desde allí, una flecha verde apunta a 'DAP', que a su vez apunta a 'GIS'. Una flecha verde curva conecta 'GIS' con 'LCA'. Una flecha verde curva conecta 'LCA' con 'BIM'. Una flecha verde curva conecta 'BIM' con 'Planificación y Diseño'. Una flecha verde curva conecta 'BIM' con 'Agenda en Objetivos, Alcance y Recursos'. Una flecha verde curva conecta 'LCA' con 'Agenda en Objetivos, Alcance y Recursos'.</p>	<p>Planificación y Diseño (+)</p> <hr/> <p>BIM (+)</p> <hr/> <p>LCA (+)</p> <hr/> <p>GIS (+)</p> <hr/> <p>DAP (+)</p> <hr/> <p>Agenda en Objetivos, Alcance y Recursos (+)</p>	<p>Una mejora en la “Planificación y Diseño” crea un efecto dominó en el sistema al potenciar el uso de herramientas clave como "BIM", que integra datos más precisos y estratégicos en las etapas iniciales del proyecto. Este uso eficiente de "BIM" fortalece el “LCA”, ofreciendo una evaluación detallada del impacto ambiental y los costos asociados a lo largo de la vida útil del proyecto. Esto no solo optimiza las decisiones iniciales, sino que también sienta una base sólida para los pasos siguientes.</p> <p>A medida que el “LCA” mejora, los “GIS” desempeñan un papel fundamental al facilitar la planificación territorial, optimizando la ubicación y distribución de recursos. Esto lleva a una implementación más efectiva del “DAP”, que ajusta los planes según datos actualizados y cambios en el entorno, incrementando la flexibilidad y capacidad de respuesta del proyecto. El "DAP", al integrarse con estos elementos, impacta directamente en la “Agenda en Objetivos, Alcance y Recursos”, mejorando la alineación de metas y la asignación de recursos. Este efecto retroalimenta las fases iniciales de Planificación y Diseño, cerrando un ciclo continuo de mejora que refuerza la sostenibilidad, adaptabilidad y eficacia del sistema.</p>
R20	 <p>El diagrama muestra un ciclo de retroalimentación. Una flecha verde curva conecta 'Economía Circular' con 'MFA'. Una flecha verde curva conecta 'MFA' con 'SCOR'. Una flecha verde curva conecta 'SCOR' con 'Economía Circular'.</p>	<p>MFA (+)</p> <hr/> <p>SCOR (+)</p> <hr/> <p>Economía Circular (+)</p>	<p>La mejorar el “MFA” permite una gestión más eficiente de los recursos, identificando oportunidades para optimizar el uso y la disposición de materiales. Esto impulsa mejores prácticas en “SCOR”, mejorando la coordinación en la cadena de suministro y reduciendo ineficiencias.</p> <p>A su vez, un "SCOR" optimizado promueve la “Economía Circular”, fomentando la reutilización de materiales y reduciendo desperdicios, como aprovechar el concreto reciclado o metales recuperados en nuevos proyectos. Esta "Economía Circular" fortalecida proporciona datos y recursos que retroalimentan positivamente el "MFA", permitiendo análisis más precisos y decisiones mejor informadas en futuros proyectos.</p>

ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
B7		<p>Regulaciones y Restricciones Normativas (-)</p> <hr/> <p>Corrupción: Irregularidades con Proveedores debido a los Intereses de los Funcionarios (+)</p>	<p>Este ciclo describe un sistema de balance en el que las “Regulaciones y Restricciones Normativas” y la “Corrupción” interactúan para estabilizarse mutuamente. Cuando las “Regulaciones y Restricciones Normativas” aumentan, ejercen un efecto negativo sobre la “Corrupción”, reduciéndola al limitar las oportunidades para prácticas ilícitas. Sin embargo, si la “Corrupción” se incrementa, genera presión en los organismos reguladores, que responden introduciendo más regulaciones y restricciones. Este efecto fomenta un ciclo de ajuste: más corrupción lleva a más normas, y más normas reducen la corrupción.</p>
B8		<p>Regulaciones y Restricciones Normativas (+)</p> <hr/> <p>Burocracia: Procesos de Adquisición Largos y Complicados (-)</p> <hr/> <p>Corrupción: Irregularidades con Proveedores debido a los Intereses de los Funcionarios (+)</p>	<p>Cuando las “Regulaciones y Restricciones Normativas” aumentan, generan un efecto directo en los procesos administrativos, haciendo que la “Burocracia” se vuelva más compleja y los procesos de adquisición sean más largos y complicados. Esta mayor burocracia introduce barreras que dificultan el acceso rápido a proveedores deshonestos o la manipulación de procedimientos, lo que ejerce un efecto negativo sobre la “Corrupción”, reduciendo ciertas formas de prácticas ilícitas. Sin embargo, cuando la “Corrupción” aumenta, los organismos reguladores responden incrementando las “Regulaciones y Restricciones Normativas”, buscando cerrar brechas legales y prevenir malas prácticas. Esto cierra el ciclo, donde más corrupción genera más regulaciones, que a su vez complican los procesos y dificultan los actos corruptos</p>
B9		<p>Construcción (+)</p> <hr/> <p>Sobrecostos (+)</p> <hr/> <p>Paralizaciones y Retrasos (-)</p>	<p>En el proceso de construcción, un mayor nivel de actividad incrementa la probabilidad de “Sobrecostos”, ya que la complejidad y el volumen de la obra pueden generar gastos adicionales en materiales, mano de obra o tiempo. Estos sobrecostos, a su vez, impactan positivamente en las “Detenciones y Retrasos”, ya que un presupuesto excedido puede provocar pausas para renegociar contratos, buscar financiamiento adicional</p>

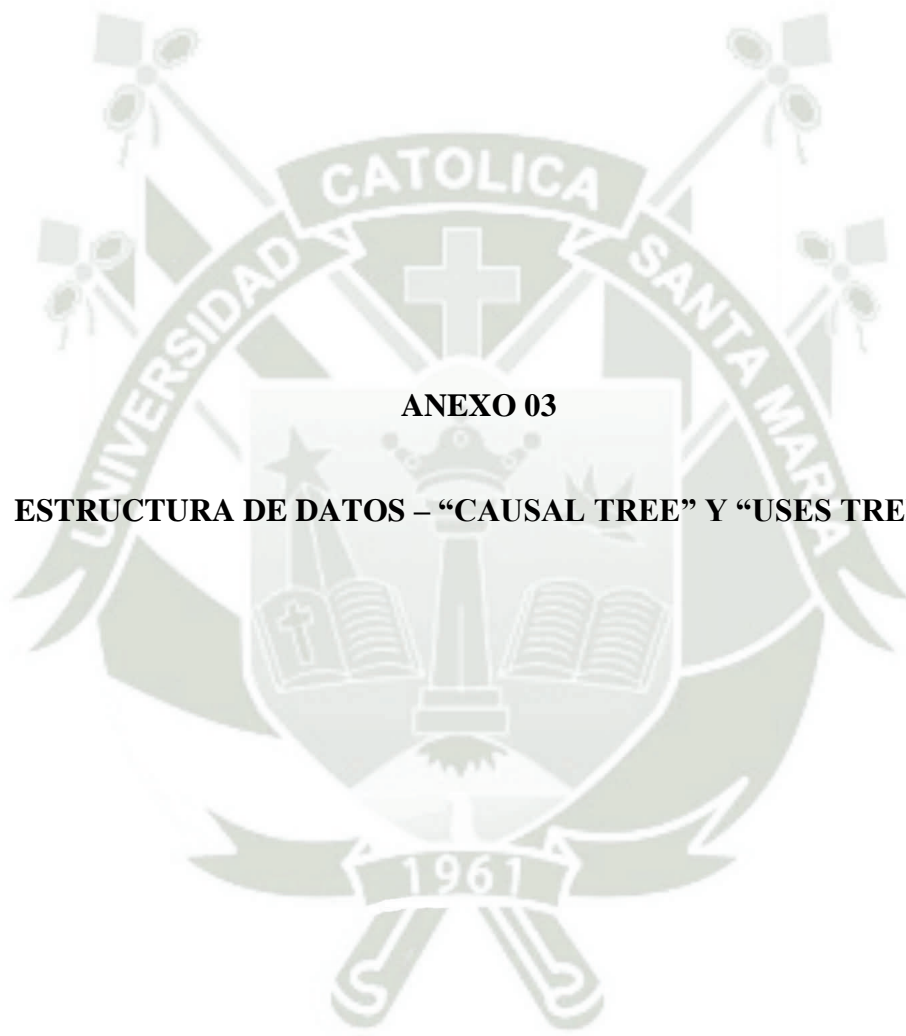
ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
			<p>o ajustar los cronogramas del proyecto. Sin embargo, estas “Detenciones y Retrasos” terminan influyendo negativamente en la “Construcción”, ya que ralentizan el ritmo de avance, limitando la capacidad de continuar con las actividades programadas. Este efecto moderador introduce un freno natural: cuando la construcción avanza rápidamente y genera sobrecostos y retrasos, estos mismos factores actúan como un límite para evitar un crecimiento descontrolado.</p>
R21		<p>Operación y Mantenimiento (+)</p> <hr/> <p>SHM (-)</p> <hr/> <p>Enfoque en el Mantenimiento Correctivo (-)</p>	<p>Mejoras en "Operación y Mantenimiento" incrementan el uso efectivo del "SHM", permitiendo detectar problemas de manera anticipada y fortaleciendo la capacidad preventiva del sistema. Este monitoreo más eficiente reduce la necesidad de recurrir al Mantenimiento Correctivo, ya que los problemas se abordan antes de convertirse en fallas críticas. Esta reducción en el enfoque reactivo libera recursos y tiempo, permitiendo un manejo más estratégico y eficiente de los activos. A medida que el sistema depende menos del mantenimiento correctivo, la "Operación y Mantenimiento" mejora aún más, enfocándose en actividades preventivas y sostenibles que prolongan la vida útil de los activos y optimizan su desempeño.</p>
R22		<p>Operación y Mantenimiento (+)</p> <hr/> <p>SHM (+)</p> <hr/> <p>Mantenimiento Preventivo (+)</p>	<p>Las mejoras en "Operación y Mantenimiento" potencian el uso efectivo del "SHM", que permite detectar problemas de manera temprana y prevenir fallas. Este monitoreo avanzado fomenta un mayor "Enfoque en el Mantenimiento Preventivo". El incremento del Mantenimiento Preventivo refuerza la "Operación y Mantenimiento", reduciendo fallas inesperadas, prolongando la vida útil de los activos y optimizando los recursos.</p>

ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
R23		<p>IOT (+)</p> <hr/> <p>SHM (+)</p> <hr/> <p>Big Data (+)</p> <hr/> <p>Machine Learning (+)</p>	<p>En este bucle el "IoT" impulsa el "SHM" al proporcionar datos en tiempo real a través de sensores inteligentes conectados, mejorando la capacidad de monitoreo y detección temprana de problemas. Este flujo constante de información fortalece el sistema de monitoreo estructural, haciendo que sea más preciso y eficiente. A medida que el "SHM" opera con mayor eficacia, genera grandes volúmenes de datos que alimentan plataformas de "Big Data", aumentando la disponibilidad de información valiosa para la toma de decisiones. Este análisis masivo de datos permite una comprensión más profunda del sistema y de sus comportamientos a lo largo del tiempo.</p> <p>La integración de "Big Data" con algoritmos de "Machine Learning" permite procesar estos datos en busca de patrones, ofreciendo predicciones precisas y la capacidad de prevenir fallas antes de que ocurran. Esto mejora significativamente la inteligencia del sistema, haciéndolo más adaptativo y proactivo. Finalmente, los modelos avanzados de "Machine Learning" optimizan el uso de dispositivos "IoT", mejorando su capacidad para generar datos más precisos y relevantes. Esto cierra el ciclo, retroalimentando continuamente el sistema y asegurando un flujo constante de mejoras en eficiencia, inteligencia y sostenibilidad</p>
R24		<p>SHM (+)</p> <hr/> <p>IA (+)</p> <hr/> <p>Machine Learning (+)</p>	<p>En este bucle "SHM" avanzado genera datos de alta calidad que alimentan los sistemas de "IA". Estos datos permiten a la "IA" mejorar su capacidad de análisis y toma de decisiones, optimizando el entendimiento de las condiciones estructurales y facilitando la gestión proactiva.</p> <p>A medida que la "IA" opera con mayor eficacia, utiliza algoritmos de "Machine Learning" para procesar grandes volúmenes de datos, identificando patrones y tendencias que incrementan la precisión y eficacia del sistema. Esto permite anticipar posibles fallas y desarrollar estrategias más adaptativas.</p>

ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
			<p>Por su parte, los avances en Machine Learning retroalimentan el SHM, proporcionando modelos predictivos y analíticos que mejoran la capacidad de detección y respuesta del monitoreo estructural. Esto permite un monitoreo más preciso y proactivo, cerrando el ciclo y reforzando todo el sistema.</p>
B10		<p>Renovación y Disposición (+)</p> <hr/> <p>Riesgo Estructural (-)</p> <hr/> <p>Cumplimiento Normativo (+)</p>	<p>En la etapa "Renovación y Disposición", pueden surgir "Riesgos Estructurales", como errores en la ejecución o materiales inestables. Estos riesgos estructurales afectan negativamente el "Cumplimiento Normativo", dificultando que las infraestructuras cumplan con los estándares requeridos. Sin embargo, un adecuado "Cumplimiento Normativo" impulsa mejores prácticas en "Renovación y Disposición", asegurando que se realicen bajo estándares estrictos y minimizando riesgos futuros.</p>
B11		<p>Contaminación (+)</p> <hr/> <p>Existencia de Directivas y Pautas (-)</p>	<p>Un aumento en la "Contaminación" impulsa la necesidad de implementar "Directivas y Pautas" más estrictas, ya que los reguladores buscan mitigar sus efectos negativos. Esta relación positiva refleja cómo la contaminación actúa como un catalizador para establecer nuevas medidas y controles. Por otro lado, la "Existencia de Directivas y Pautas" reduce la "Contaminación", ya que estas regulaciones introducen medidas efectivas para limitar las emisiones y mejorar la gestión ambiental.</p>

ID	IMAGEN	VARIABLES	JUSTIFICACION
B12	 <pre> graph TD RD[Renovación y Disposición] -- "+" --> C[Contaminación] C -- "+" --> EDP[Existencia de Directivas y Pautas] EDP -- "-" --> RD </pre>	<p>Renovación y Disposición (+)</p> <hr/> <p>Contaminación (+)</p> <hr/> <p>Existencia de Directivas y Pautas (+)</p>	<p>En la etapa de "Renovación y Disposición", actividades como la demolición, el tratamiento de residuos o el transporte de materiales generan "Contaminación" en forma de emisiones, desechos o ruido. Esto establece una relación positiva, ya que a mayor renovación y disposición, mayor es el impacto ambiental generado. A medida que la "Contaminación" aumenta, se promulgan más "Directivas y Pautas" para mitigar sus efectos, introduciendo normas de gestión ambiental y políticas para la reducción de residuos. Esta relación también es positiva, ya que la contaminación impulsa la necesidad de regulación. Por su parte, la "Existencia de Directivas y Pautas" fomenta prácticas más sostenibles en las actividades de "Renovación y Disposición", como el reciclaje de materiales o la adopción de tecnologías limpias, lo que puede incrementar las actividades relacionadas con la renovación bajo estándares más estrictos.</p>

Fuente: Elaboración Propia



ANEXO 03

ESTRUCTURA DE DATOS – “CAUSAL TREE” Y “USES TREE”

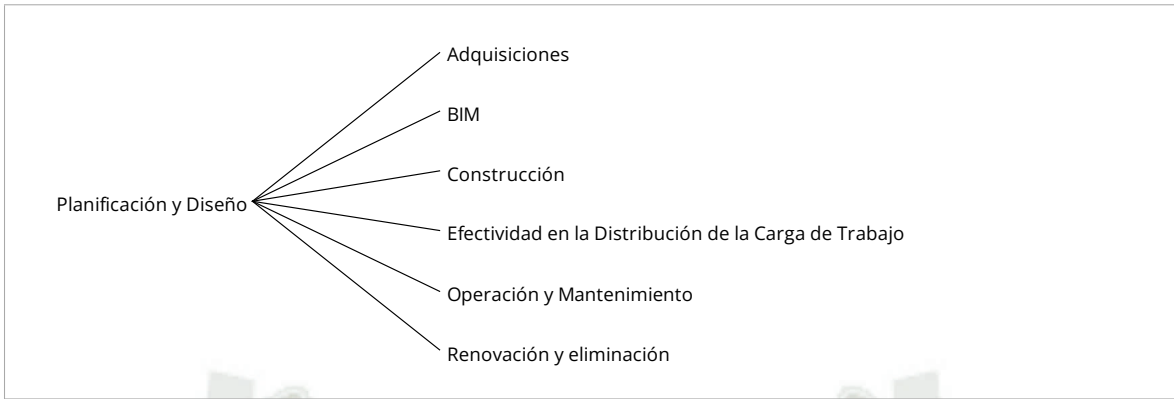


Figura 3: Planificación y diseño – Uses Tree



Figura 4: Planificación y diseño – Causal Tree

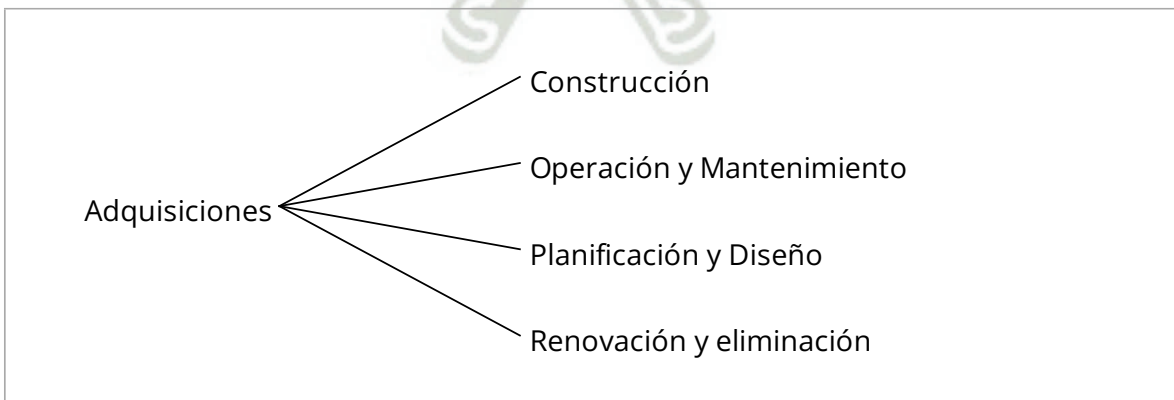


Figura 5: Adquisiciones – Uses Tree

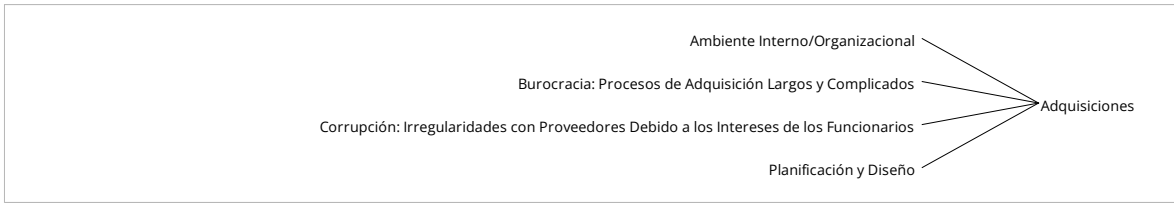


Figura 6: Adquisiciones – Causal Tree

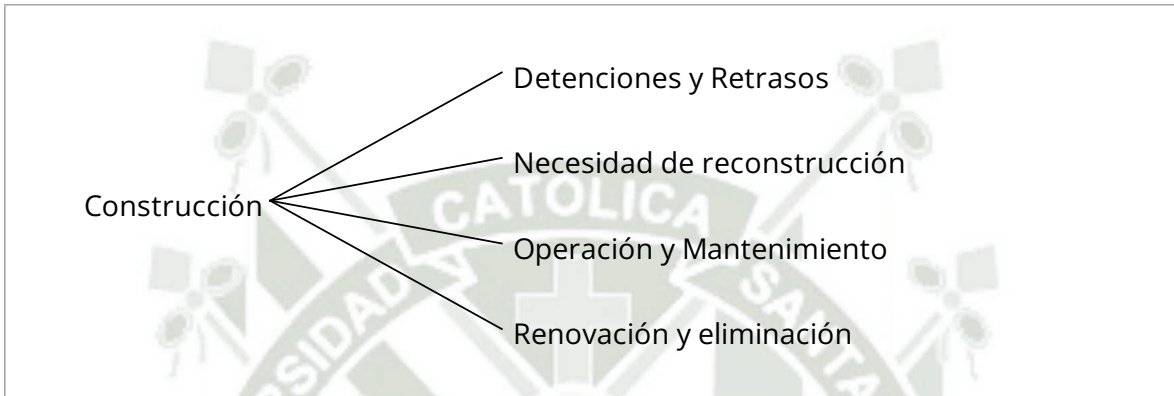


Figura 7: Construcción – Uses Tree

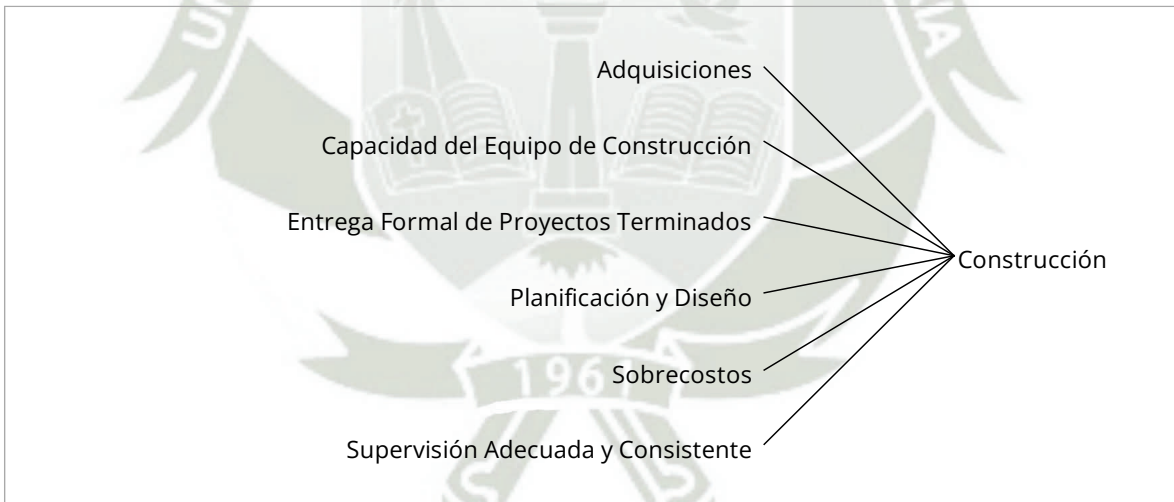


Figura 8: Construcción – Causal Tree

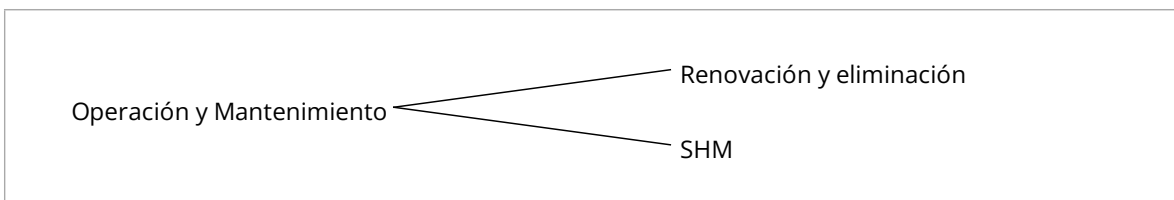


Figura 9: Operación y mantenimiento – Uses Tree



Figura 10: Operación y mantenimiento – Uses Tree

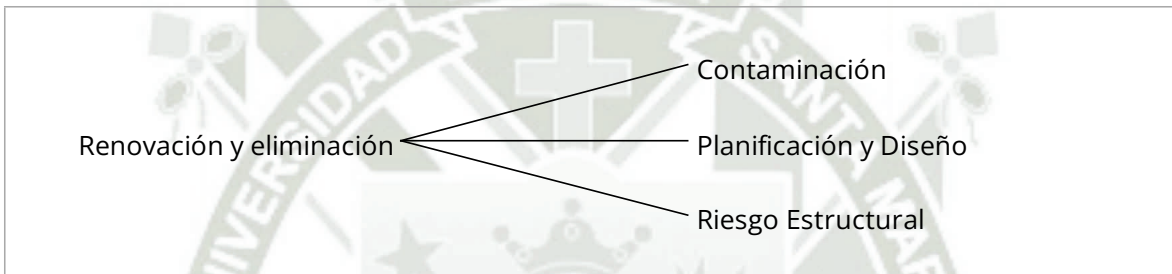
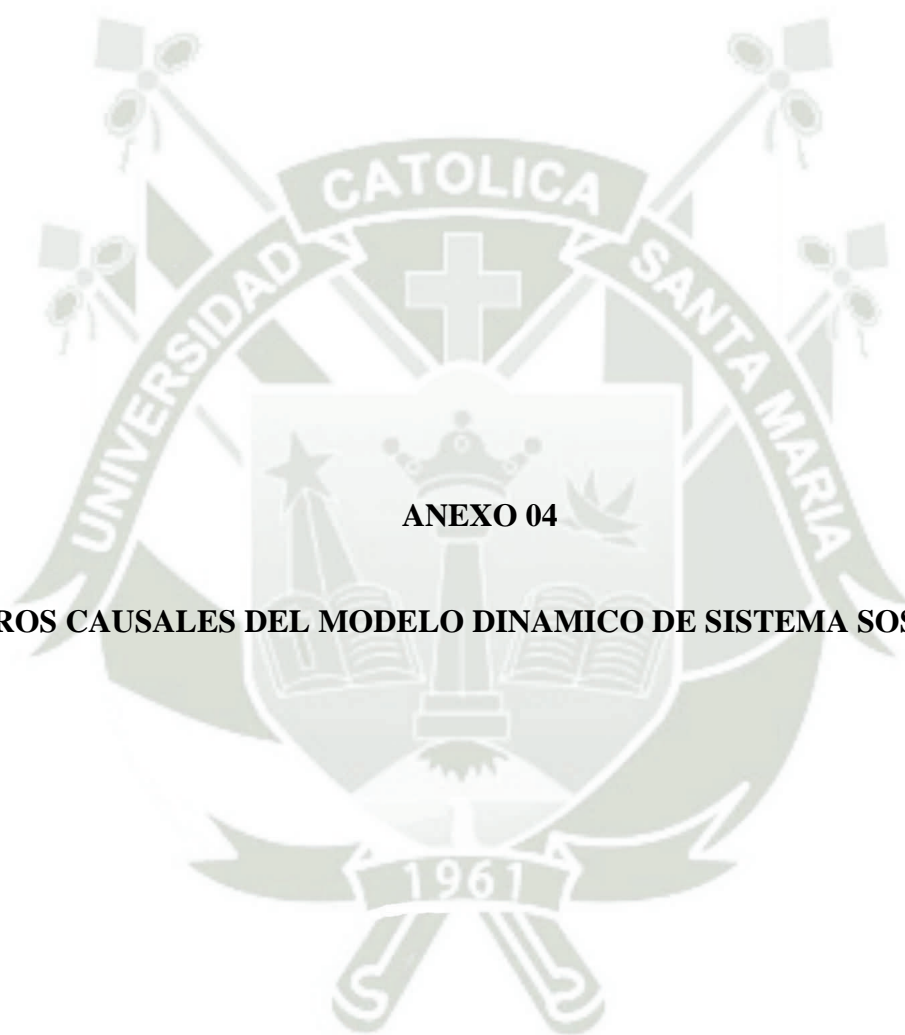


Figura 11: Renovación y disposición – Uses Tree



Figura 12: Renovación y disposición – Causal Tree



ANEXO 04

CUADROS CAUSALES DEL MODELO DINAMICO DE SISTEMA SOSTENIBLE

Tabla 9: Cuadro causal – Primeras variables N°01

	Adaptabilidad del diseño a las condiciones ambientales	Adquisiciones	Agenda en Objetivos	AI	Aplicación de estudios de campo	Asuntos legales	Big Data	BIM	Burocracia: Procesos de contratación largos y complicados	Capacidad del equipo de construcción	Centrarse en el mantenimiento correctivo	Changeability	Circular Economy	Claridad en la asignación de roles	Clima interno/ organizativo	Community Approach	Concepción de proyectos a gran escala	Conciencia de las necesidades de la población	Conocimiento de permisos/autorizaciones y reglamentos	Construcción	
Adaptabilidad del diseño a las condiciones ambientales																					
Adquisiciones																					(+) _____
Agenda en Objetivos																					
AI																					
Aplicación de estudios de campo																					
Asuntos legales																					
Big Data																					
BIM	(+) _____																				
Burocracia: Procesos de contratación largos y complicados		(-) _____																			
Capacidad del equipo de construcción																					(+) _____
Centrarse en el mantenimiento correctivo																					
Changeability																					
Circular Economy	(+) _____																				
Claridad en la asignación de roles																					
Clima interno/ organizativo		(+) _____																			
Community Approach																	(+) _____				
Concepción de proyectos a gran escala																					
Conciencia de las necesidades de la población																					
Conocimiento de permisos/autorizaciones y reglamentos																				(-) _____	
Construcción																					
Contaminación																					
Corrupción: Irregularidades con proveedores por intereses de funcionarios		(+) _____																			
Cumplimiento de la normativa																					
DAP		(+) _____																			
Dron					(+) _____																
Eficacia de la distribución de la carga de trabajo																					
Eficacia y durabilidad de los recursos operativos																					
Entrega formal de los proyectos terminados																					(+) _____
Existencia de directivas y directrices																					
GIS					(+) _____																
GPP						(-) _____			(+) _____												

Tabla 10: Cuadro causal – Primeras variables N°02

	Contaminación	Corrupción: Irregularidades con proveedores por	Cumplimiento de la normativa	DAP	Dron	Eficacia de la distribución de la carga de trabajo	Eficacia y durabilidad de los recursos operativos	Entrega formal de los proyectos terminados	Existencia de directivas y directrices	GIS	GPP	GWS	Información estadística fiable sobre brechas	IoT	IPD	Last Planner System	LCA	Lean and Green	Machine Learning	Mantenimiento preventivo	MCDM
Adaptabilidad del diseño a las condiciones ambientales																	(+)-----				
Adquisiciones																					
Agenda en Objetivos																					
AI																					
Aplicación de estudios de campo																					
Asuntos legales																					
Big Data													(+)-----						(+)-----		
BIM																	(+)-----				
Burocracia: Procesos de contratación largos y complicados		(+)-----																			
Capacidad del equipo de construcción																					
Centrarse en el mantenimiento correctivo																					
Changeability																					
Circular Economy																				(+)-----	
Claridad en la asignación de roles																					
Clima interno/ organizativo																					
Community Approach																					
Concepción de proyectos a gran escala																					
Conciencia de las necesidades de la población																					
Conocimiento de permisos/ autorizaciones y reglamentos																					
Construcción																					
Contaminación									(+)-----												
Corrupción: Irregularidades con proveedores por intereses de funcionarios																					
Cumplimiento de la normativa																					
DAP																					
Dron																					
Eficacia de la distribución de la carga de trabajo																					
Eficacia y durabilidad de los recursos operativos																					
Entrega formal de los proyectos terminados																					
Existencia de directivas y directrices		(-)-----																			
GIS																				(+)-----	
GPP																					(-)-----

Tabla 11: Cuadro causal – Primeras variables N°03

	MFA	Modificaciones en el diseño inicial	Necesidad de reconstrucción	Normativa y restricciones	Operación y mantenimiento	Paralizaciones y retrasos	Participación e implicación de la Comunidad	Planificación y Diseño	Precisión en la identificación de prioridades	Preservación de la infraestructura existente	Priorización de nuevas infraestructuras	Reconocimiento de la importancia de elaborar	Renovación y disposición	Reutilización de materiales	Riesgo estructural	SCOR	SHM	Sobrecostos	Supervisión adecuada y constante	Tiempo adecuado para la planificación	Tiempo de trabajo productivo	
Adaptabilidad del diseño a las condiciones ambientales								(+)-----														
Adquisiciones					(+)-----			(+)-----					(+)-----									
Agenda en Objetivos								(+)-----														
AI																						
Aplicación de estudios de campo								(+)-----														
Asuntos legales												(+)-----										
BigData																						
BIM																						
Burocracia: Procesos de contratación largos y complicados																						
Capacidad del equipo de construcción																						
Centrarse en el mantenimiento correctivo					(-)-----																	
Changeability											(+)-----											
Circular Economy	(+)-----									(+)-----	(+)-----			(+)-----								
Claridad en la asignación de roles					(+)-----																	
Clima interno/ organizativo																						
Community Approach							(+)-----															
Concepción de proyectos a gran escala								(+)-----														
Conciencia de las necesidades de la población									(+)-----													
Conocimiento de permisos/ autorizaciones y reglamentos								(+)-----														
Construcción			(+)-----		+-----	(+)-----							(+)-----									
Contaminación																						
Corrupción: Irregularidades con proveedores por intereses de funcionarios				(+)-----																		
Cumplimiento de la normativa													(+)-----									
DAP																						
Dron																						(+)-----
Eficacia de la distribución de la carga de trabajo																						(-)-----
Eficacia y durabilidad de los recursos operativos					(+)-----																	
Entrega formal de los proyectos terminados																						
Existencia de directivas y directrices													(-)-----									
GIS																						
GPP																						

Tabla 13: Cuadro causal – Continuación de variables N°02

	Contaminación	Corrupción: Irregularidades con proveedores por	Cumplimiento de la normativa	DAP	Dron	Eficacia de la distribución de la carga de trabajo	Eficacia y durabilidad de los recursos operativos	Entrega formal de los proyectos terminados	Existencia de directivas y directrices	GS	GPP	GWS	Información estadística fiable sobre brechas	IoT	IPD	Last Planner System	LCA	Lean and Green	Machine Learning	Mantenimiento preventivo	MCDM
GWS																					
Información estadística fiable sobre brechas																					
IoT													(+)-----								
IPD								(+)-----													
Last Planner System								(+)-----													
LCA							(+)-----		(+)-----												
Lean and Green																					
Machine Learning														(+)-----							
Mantenimiento preventivo																					
MCDM						(+)-----															
MFA																					
Modificaciones en el diseño inicial																					
Necesidad de reconstrucción																					
Normativa y restricciones		(-)-----																			
Operación y mantenimiento																					
Paralizaciones y retrasos																					
Participación e implicación de la Comunidad																					
Planificación y Diseño						(+)-----															
Precisión en la identificación de prioridades																					
Preservación de la infraestructura existente																					
Priorización de nuevas infraestructuras																					
Reconocimiento de la importancia de elaborar perfiles de proyecto																					
Renovación y disposición		(+)-----																			
Reutilización de materiales		(-)-----																			
Riesgo estructural				(-)-----																	
SCOR																					
SHM																					(+)-----
Sobrecostos																					
Supervisión adecuada y constante																					
Tiempo adecuado para la planificación																					
Tiempo de trabajo productivo																					

Tabla 14: Cuadro causal – Continuación de variables N°03

	MFA	Modificaciones en el diseño inicial	Necesidad de reconstrucción	Normativa y restricciones	Operación y mantenimiento	Paralizaciones y retrasos	Participación e implicación de la Comunidad	Planificación y Diseño	Precisión en la identificación de prioridades	Preservación de la infraestructura existente	Priorización de nuevas infraestructuras	Reconocimiento de la importancia de elaborar	Renovación y disposición	Reutilización de materiales	Riesgo estructural	SCOR	SHM	Sobrecostos	Supervisión adecuada y constante	Tiempo adecuado para la planificación	Tiempo de trabajo productivo
GWS																					
Información estadística fiable sobre brechas									(+) -----												
IoT						(-) -----											(+) -----				
IPD																					
Last Planner System						(-) -----															
LCA										(+) -----	(+) -----			(+) -----							(+) -----
Lean and Green																	(+) -----				
Machine Learning																					
Mantenimiento preventivo					(-) -----																
MCDM											(+) -----										
MFA																(+) -----					
Modificaciones en el diseño inicial								(-) -----													
Necesidad de reconstrucción		(+) -----																			
Normativa y restricciones																					
Operación y mantenimiento													+ -----				(+) -----				
Paralizaciones y retrasos																		(+) -----			
Participación e implicación de la Comunidad																			(+) -----		
Planificación y Diseño					(+) -----								(+) -----								
Precisión en la identificación de prioridades								(+) -----													
Preservación de la infraestructura existente								(-) -----													
Priorización de nuevas Infraestructuras									(-) -----												
Reconocimiento de la importancia de elaborar perfiles de proyecto								(+) -----													
Renovación y disposición								(-) -----							(+) -----						
Reutilización de materiales																					
Riesgo estructural																					
SCOR																					
SHM																					
Sobrecostos																			(+) -----		
Supervisión adecuada y constante																					
Tiempo adecuado para la planificación								(+) -----													
Tiempo de trabajo productivo																					(+) -----