



Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Modalidad:

Innovación organizacional

“Business case”

FABIO ORLANDO MEDINA PINTO

JUAN MANUEL VALDERRAMA MATALLANA

IVAN DARIO HERRAN ESCOBAR

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

**FABIO ORLANDO MEDINA PINTO
JUAN MANUEL VALDERRAMA MATALLANA
IVAN DARIO HERRAN ESCOBAR**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Gerencia de Proyectos

Tutor:
PostDoc., Ph.D. CESAR HERNANDO RINCÓN GONZÁLEZ

Modalidad:
Innovación organizacional
“Business case”

Universidad EAN
Facultad de ingeniería
Maestría en gerencia de proyectos
Bogotá D.C., Colombia
26 de octubre de 2024

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Resumen ejecutivo

Este documento muestra el desarrollo de un proyecto que consiste en la implementación de un prototipo de gemelos digitales para la gestión de infraestructura vial en la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Como contexto, el documento explora el ecosistema de innovación en el sector, señala los desafíos actuales en el monitoreo y mantenimiento de proyectos viales. La solución propuesta incluye el desarrollo de una aplicación denominada "INFRATWIN", que combina tecnologías como gemelos digitales, drones, y aplicaciones móviles para optimizar el control de proyectos. La metodología de validación incorpora herramientas como el modelo CANVAS, roadmap de innovación y Scrum para asegurar una implementación ágil y escalable.

Los resultados muestran mejoras en la eficiencia operativa, reducción de costos y un alto retorno sobre la inversión (ROI) proyectado en un 485%. Finalmente se presentan conclusiones que muestran que esta iniciativa mejora la transparencia y precisión en el monitoreo de infraestructura vial, y fortalece la adopción de tecnologías disruptivas en la gestión pública, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en innovación y sostenibilidad

Palabras clave: Gemelos digitales, infraestructura vial, innovación organizacional, ANI, sostenibilidad

Contenido

Resumen ejecutivo	3
1. Objetivos y alineación estratégica	9
1.1 Objetivo general	9
1.2 Objetivos específicos.....	9
2. Contexto y desafío de innovación.....	10
2.1 Análisis del ecosistema de innovación del sector y de la solución propuesta	10
2.2 Entendimiento de las necesidades del área y/o unidad de negocio	11
2.3. Mapa de empatía del cliente/usuario	12
2.4. Definición del problema utilizando "How Might We" (HMW):.....	13
3. Solución Innovadora.....	14
3.1 Solución innovadora	14
3.2 Descripción de la solución (storyboard)	15
3.3 Prototipo conceptual.....	16
3.4 Propuesta de experiencia del usuario (journey map)	17
4. Análisis de mercado y competencia	18
4.1. Análisis de tendencias emergentes y tecnologías disruptivas.....	18
4.2. Evaluación de la solución con las partes interesadas	19
4.3. Mapa de posicionamiento de innovación	20
5. Modelo de negocio innovador	21
5.1. Canvas de modelo de negocio	21
5.2. Propuesta de valor canvas	22
5.3. Estrategia de plataforma o ecosistema	23
6. Plan de implementación bajo metodologías ágiles	24
6.1. Roadmap de innovación	24
6.2 metodología de desarrollo	25
6.3. Equipo y recursos necesarios.....	26
7. Análisis Financiero y de Impacto.....	27
7.1. Proyecciones financieras y ROI de innovación	27

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

- 7.2. Análisis de escenarios28
- 7.3. Impacto social y ambiental.....29
- 8. Gestión de riesgos y oportunidades 30**
 - 8.1 Matriz de riesgos y estrategias de mitigación:30
 - 8.2 Análisis de pivote.....31
 - 8.3 Oportunidades de escalabilidad y crecimiento futuro32
- 9. Métricas de éxito y KPIs de Innovación..... 33**
 - 9.1. OKRs (Objectives and Key Results) del proyecto33
 - 9.2. Métricas de innovación34
 - 9.3 Plan de medición y evaluación continua35
- 10. Plan de gestión del cambio y adopción 36**
 - 10.1 Plan de gestión de cambio36
 - 10.2 Plan de capacitaciones y desarrollo de competencias37
 - 10.3 Cultura de innovación y mejora continua:38
- Conclusiones y Recomendaciones 39**
- Referencias..... 40**
- Anexos..... 42**

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Lista de figuras

Figura 1	Análisis del ecosistema de innovación.	10
Figura 2	Mapa de empatía ANI	12
Figura 3	Diagrama de elaboración “How might we”	13
Figura 4	Storyboard implementación Gemelos Digitales	15
Figura 5	Prototipo conceptual aplicación INFRATWIN	16
Figura 6	Journey Map	17
Figura 7	Análisis de horizonte tecnológico	18
Figura 8	Mapa de Ecosistema Competitivo	19
Figura 9	Matriz de innovación	20
Figura 10	Canvas del Modelo de Negocio.....	21
Figura 11	Propuesta de Valor.....	22
Figura 12	Análisis de plataforma o ecosistema	23
Figura 13	Roadmap de innovación.....	24
Figura 14	Metodología de Desarrollo	25
Figura 15	Equipo y Recursos de Innovación	26
Figura 16	Matriz de Impacto.....	29
Figura 17	Pivotes analizados	31
Figura 18	Matriz ANSOFF	32
Figura 19	Ciclo del FeedBack	35
Figura 20	Matriz de Cultura de Innovación y Mejora Continua.	38
Figura 21.	Resumen de Puntos Clave.....	39
Figura 22	Matriz de Planificación de Escenarios Futuros	39

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Lista de tablas

Tabla 1	Flujo del proyecto en millones de pesos	27
Tabla 2	Indicadores financieros del proyecto	27
Tabla 3	Análisis de escenarios	28

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexos

Anexo A. Análisis del ecosistema de innovación.....	42
Anexo B Estructura organizacional de la ANI.....	43
Anexo C Mapa de procesos ANI	44
Anexo D Matriz DOFA ANI	45
Anexo E Storyboard implementación Gemelos Digitales.....	46
Anexo F Cronograma detallado.....	47
Anexo G Tablas Equipos y recursos Clave	48
Anexo H Presupuesto	50
Anexo I Matriz de riesgos.....	51
Anexo J Análisis de pivotes.....	52
Anexo K <i>OKRs (Objectives and Key Results) del proyecto</i>	53
Anexo L Métricas de innovación	54
Anexo M Plan de Gestión del Cambio y Adopción	55
Anexo N Plan de capacitaciones y desarrollo de habilidades	57

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

1. Objetivos y alineación estratégica

1.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta para la implementación de gemelos digitales (tecnologías disruptivas) para la gestión de activos mediante la inspección y seguimiento de proyectos de infraestructura vial para la ANI

1.2 Objetivos específicos

- Evaluar la implementación de gemelos digitales (tecnologías disruptivas) para la gestión de activos mediante la inspección y seguimiento de proyectos de infraestructura vial.
- Diagnosticar el (los) proceso(s) de inspección y seguimiento de proyectos de infraestructura vial en la ANI.
- Validar con las partes interesadas la propuesta de implementación de gemelos digitales (tecnologías disruptivas) para la gestión de activos mediante la inspección y seguimiento de proyectos de infraestructura vial.
- Definir el plan de implementación de la propuesta

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

2. Contexto y desafío de innovación

2.1 Análisis del ecosistema de innovación del sector y de la solución propuesta

La Agencia Nacional de Infraestructura - ANI, interactúa y se encuentra dentro del sector de infraestructura, específicamente el de infraestructura vial por lo que un análisis del ecosistema de innovación permite un entendimiento más claro de sus interacciones.

Figura 1

Análisis del ecosistema de innovación.



Nota: Elaboración propia basado en el sistema Ecosystem Pie Model (EPM)

Se realiza un análisis del ecosistema de innovación, teniendo en cuenta los actores presentes que interactúan con la Agencia Nacional de Infraestructura, por lo que se emplea la herramienta Ecosystem Pie Model (EPM), **Figura 1** la cual permite ver la interacción entre el usuario y cada uno de los clientes, a su vez, tiene niveles que identifican los recursos, actividades, valores asociados y la captura de valor, todo esto se centra en la necesidad que tiene el Usuario, en el **Anexo A** se puede observar detalladamente la conformación del ecosistema. Adicionalmente se analizará los problemas operativos específicos en el perfil del cliente dentro de la propuesta de valor.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

2.2 Entendimiento de las necesidades del área y/o unidad de negocio

La implementación de una solución de gemelos digitales para la infraestructura vial de la ANI representa una iniciativa estratégica que se alinea con la visión 2030 de la entidad de ser referente en la estructuración y gestión de proyectos de infraestructura.

Este proyecto, se desarrollaría bajo el liderazgo de la Vicepresidencia de Planeación, Riesgos y Entorno en coordinación con el grupo de Trabajo de Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones (ver **Anexo B** - Estructura Organizacional), busca transformar la manera en que se realiza el seguimiento y monitoreo de los activos viales a través de la digitalización y georreferenciación de la infraestructura existente.

De acuerdo con el mapa de procesos de la ANI (ver **Anexo C**), la solución impactará los procesos misionales de gestión contractual y seguimiento de proyectos de infraestructura de transporte, apoyándose en el proceso de gestión tecnológica como soporte fundamental.

El análisis estratégico realizado (ver **Anexo D** - Matriz DOFA) destaca como principales fortalezas la alineación directa con el objetivo estratégico de la ANI de ***“implementar de herramientas tecnológicas para seguimiento y monitoreo de los proyectos”***.

El éxito de esta iniciativa se medirá a través de indicadores, métricas, OKR, KPI de innovación, así como el plan de medición y evaluación continua, que se describen detalladamente en el capítulo 9 de este documento.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

2.3. Mapa de empatía del cliente/usuario

A continuación, se presenta el mapa de empatía realizado para el proyecto con relación a la Agencia Nacional de infraestructura:

Figura 2

Mapa de empatía ANI



Nota: Elaboración propia

El mapa de empatía deja ver una ANI comprometida con la innovación tecnológica y la gestión eficiente de recursos públicos. La organización observa tanto la creciente adopción de gemelos digitales en el sector como los desafíos en la infraestructura vial del país. El entorno externo comunica demandas de transparencia y expectativas de mejora, mientras que internamente se enfrentan retos como la resistencia al cambio y la complejidad en la implementación tecnológica. El mapa muestra lo correspondiente a lo que la ANI (ve, piensa y siente, oye, dice y hace), se resaltan los esfuerzos y los resultados.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

2.4. Definición del problema utilizando "How Might We" (HMW):

Figura 3

Diagrama de elaboración "How might we".



Nota: Elaboración propia, aplicación de la técnica "How Might We" (HMW).

El proceso de desarrollo de la técnica "How Might We" (HMW) comienza con la identificación de una acción clave, en este caso, mejorar la precisión en el monitoreo y control de proyectos de infraestructura vial. Luego, se define al sujeto responsable, que es la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), encargada de la supervisión y gestión de dichos proyectos. El siguiente paso es plantear el resultado esperado, que consiste en optimizar el uso de tecnologías disruptivas para lograr un monitoreo más preciso y eficiente. Todo esto se formula como una pregunta HMW, que busca explorar las posibles maneras en que la implementación de nuevas tecnologías puede mejorar significativamente el control y monitoreo de la infraestructura vial. Este proceso fomenta la creatividad y la identificación de soluciones innovadoras, guiando a los involucrados hacia una mayor efectividad operativa mediante el uso de tecnologías avanzadas.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

3. Solución Innovadora

3.1 Solución innovadora

La implementación de gemelos digitales en proyectos de infraestructura mejorará la eficiencia operativa y reducirá los costos de mantenimiento (Clarke, 2023). Sin embargo, la adopción de estas tecnologías supone retos. (Bohórquez Arévalo et al., 2017) señala el impacto de la capacitación del personal en la productividad empresarial. Por su parte, (Jara Inostroza, 2024) menciona los desafíos que se relacionan con la integración de diferentes fuentes de datos en un, y (Cando-Segovia & Chicaiza, 2021) expone sobre la importancia de garantizar la seguridad y privacidad de la información recopilada.

Este proyecto busca desarrollar una solución integral que aproveche las tecnologías de gemelos digitales, aplicaciones móviles y drones para mejorar la capacidad de la Agencia Nacional de Infraestructura -ANI- para monitorear, controlar y gestionar proyectos concesionados de infraestructura vial que se encuentran en la etapa de operación. La relevancia de esta iniciativa se sustenta si se considera lo descrito por (Cont et al., 2021), donde se sugiere que las inversiones en digitalización en el ámbito de la infraestructura pueden reducir brechas y mejorar los servicios.

Por lo anterior, este proyecto tiene el potencial de sentar las bases para una gestión eficiente y transparente de los recursos públicos en el sector de infraestructura de transporte en Colombia mediante el uso de tecnologías disruptivas como los gemelos digitales, principalmente en el modo carretero (infraestructura vial). Cabe resaltar, que este proyecto se alinea con las metas de desarrollo sostenible y modernización del estado colombiano, como lo establece el Plan Nacional de Desarrollo (Departamento Nacional De Planeación -DNP-, 2023)) y también con los Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS- especialmente con el ODS 9 denominado Industria, innovación e infraestructura (Naciones Unidas, 2024)

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

3.2 Descripción de la solución (storyboard)

Con el fin de visualizar la evolución de la propuesta y sus características que permiten analizar los cambios y experiencias por parte del usuario, se elabora un “Storyboard” que describe el funcionamiento de la solución paso a paso.

Figura 4

Storyboard implementación Gemelos Digitales



Nota: elaboración propia

Como se muestra en la Figura 4 y de forma amplia y detallada en el **Anexo E**, la evolución de un modelo clásico de captura y visualización de la información, requiere de esfuerzos en desplazamientos e interpretación de información en medios físicos que en ocasiones llevan a manejo de grandes volúmenes de información, que generan problemas en la toma de decisiones, a su vez, son la evolución y uso de tecnologías disruptivas, como equipo móviles y uso de drones, lo que conlleva a un manejo de los escenarios de infraestructura más eficiente y una visualización más detallada para ser mostrada a los altos directivos de la agencia, disminuyendo tiempos en la supervisión de los proyectos concesionados por parte de la ANI.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

3.3 Prototipo conceptual

En el desarrollo del proyecto se creó un prototipo conceptual de lo que sería la aplicación INFRATWIN para la creación de gemelos digitales la cual contiene 4 funcionalidades básicas (crear gemelo digital, editar gemelo digital, explorar proyectos, e inventario de activos).

Figura 5

Prototipo conceptual aplicación INFRATWIN



Nota: Elaboración propia

En los siguientes enlaces se puede ver una presentación y un video del prototipo conceptual de la aplicación:

<https://www.canva.com/design/DAGQdaamlEw/E5sSgm2wrDrKuhQD7BxnbQ/edit>

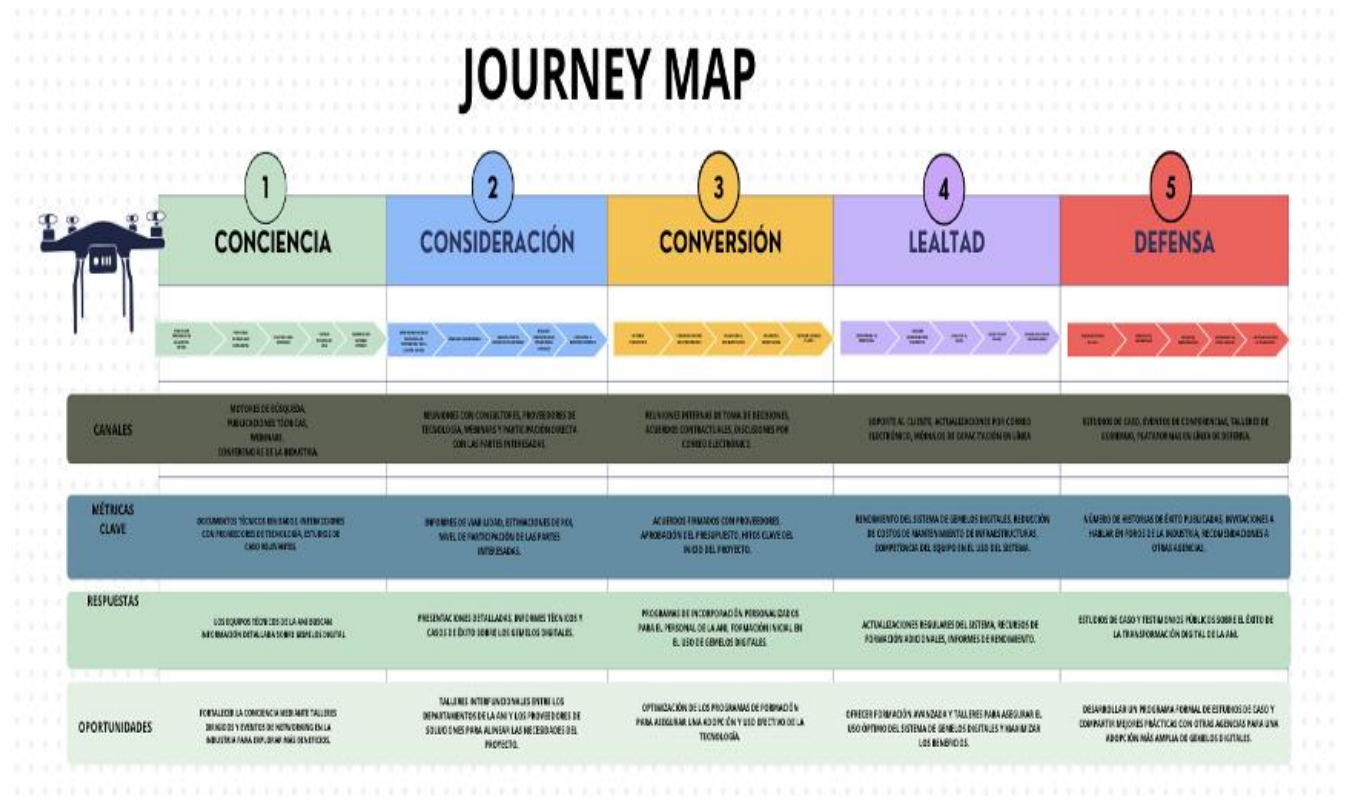
<https://youtu.be/hZ5BCLf1eCs>

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

3.4 Propuesta de experiencia del usuario (journey map)

Figura 6

Journey Map



Nota: La figura muestra el desarrollo del Journey Map Fuente: Elaboración propia

La ANI identifica ineficiencias en el monitoreo de proyectos y explora los gemelos digitales como solución. Evalúa su viabilidad con análisis de costo-beneficio y consultas con expertos, organizando talleres para alinear necesidades. Tras decidir su implementación, la ANI elabora un plan, firma contratos y capacita al personal. Optimiza el sistema con monitoreo en tiempo real y formaliza la formación continua, mejorando la gestión de proyectos y la confianza en la tecnología. Finalmente, promueve el uso de gemelos digitales en otras entidades, compartiendo sus éxitos y organizando talleres para fomentar su adopción.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

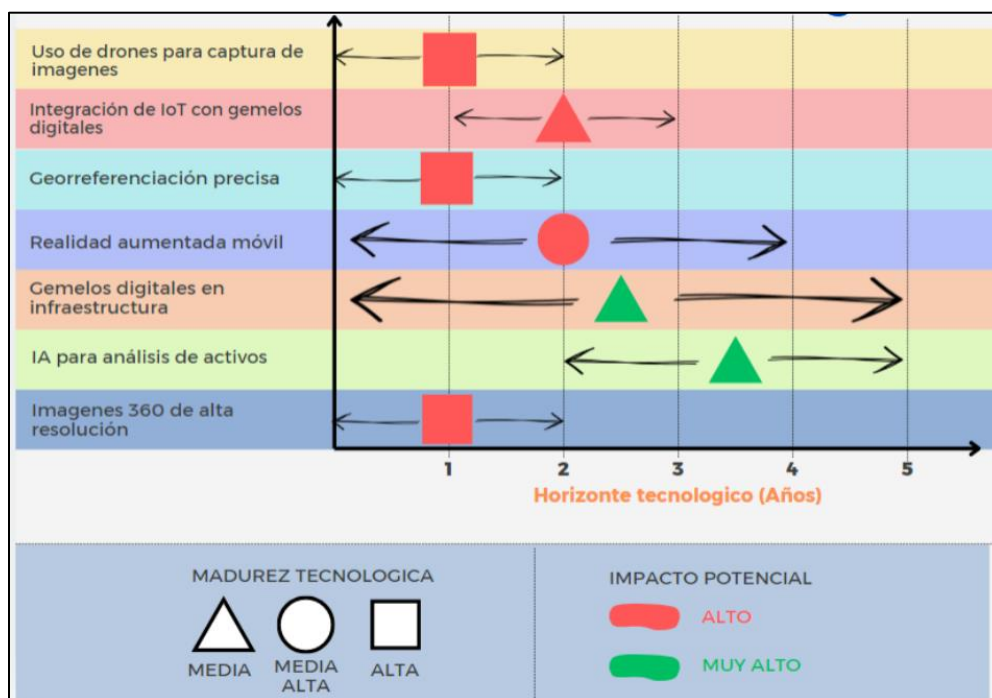
4. Análisis de mercado y competencia

4.1. Análisis de tendencias emergentes y tecnologías disruptivas

Para este análisis se trabajaron cinco componentes que son las tecnologías emergentes clave, el impacto potencial en el mercado, las tendencias emergentes, los desafíos potenciales y el análisis de horizonte tecnológico que se muestra a continuación:

Figura 7

Análisis de horizonte tecnológico



Nota: Elaboración propia

Este gráfico muestra un análisis de varias tecnologías en función de su madurez y el impacto potencial. El uso de drones para captura de imágenes y la georreferenciación precisa se encuentran más próximas en el tiempo (1-2 años), mientras que tecnologías como la IA para análisis de activos y gemelos digitales en infraestructura tienen un horizonte tecnológico más amplio (hasta 5 años). La madurez tecnológica varía desde media hasta alta, indicada con diferentes formas geométricas. En el siguiente enlace se puede ver presentación completa:

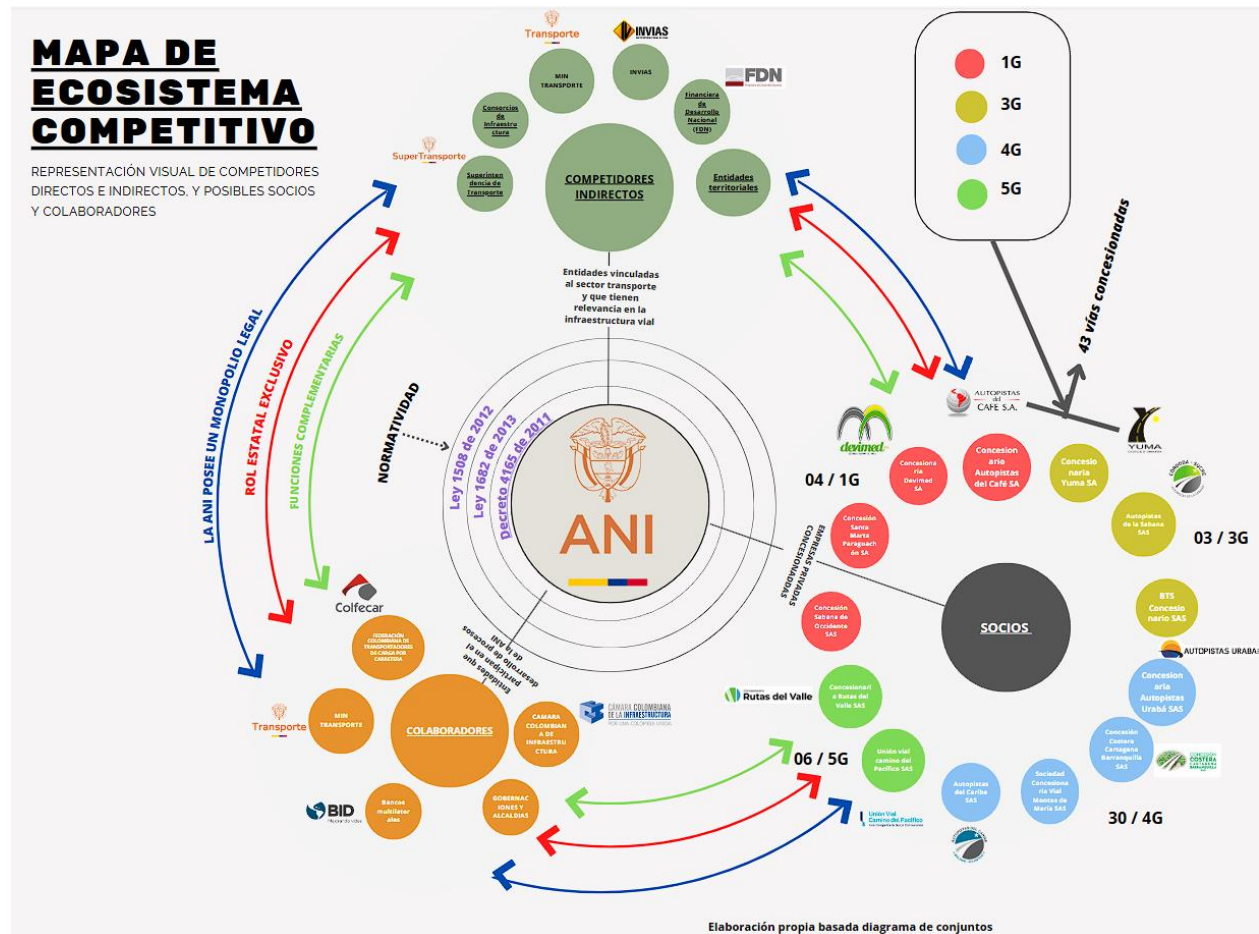
<https://prezi.com/view/hS6lvBh3i9Co59pAOZF6/>

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

4.2. Evaluación de la solución con las partes interesadas

Figura 8

Mapa de Ecosistema Competitivo



Nota: Elaboración propia.

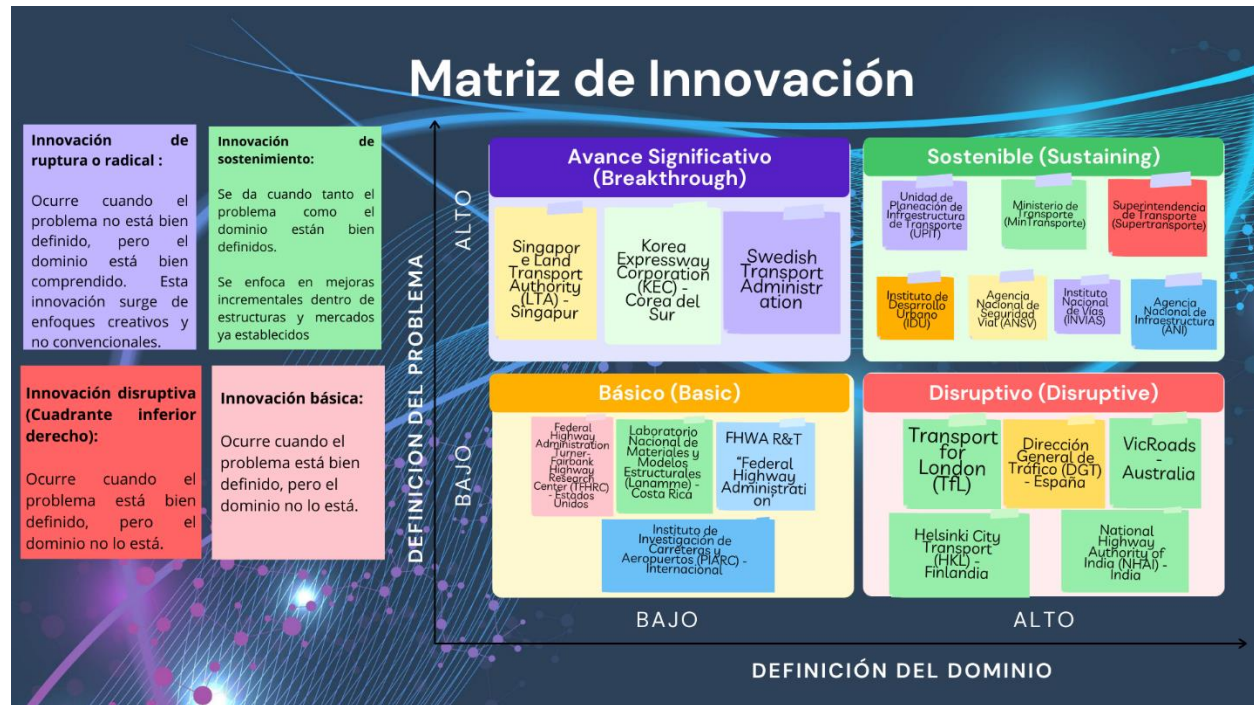
Con el fin de identificar los competidores directos e indirectos, se desarrolla el mapa de ecosistema competitivo **Figura 8**, el cual permite visualizar, los elementos clave que lo conforman, entre los cuales se encuentran: Colaboradores, Socios, Competidores, los cuales se entrelazan entre sí para crear el ecosistema competitivo. Es importante destacar que la ANI, no cuenta con competidores directos ya que se encuentra catalogada como una entidad del orden Gubernamental por lo que posee el monopolio legal del Estado.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

4.3. Mapa de posicionamiento de innovación

Figura 9

Matriz de innovación



Nota: La figura muestra la matriz de innovación Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 9** se puede observar la innovación en el sector de la infraestructura vial se clasifica en cuatro tipos: **Innovación de Ruptura**, donde el problema está claro pero el dominio es incierto, requiriendo soluciones creativas (ej. LTA de Singapur, KEC de Corea); **Innovación Sostenible**, con problemas y dominios bien definidos, que optimiza soluciones existentes para mejorar eficiencia (ej. ANI y MinTransporte de Colombia); **Innovación Básica**, con problemas y dominios poco claros, lo que lleva a enfoques exploratorios y experimentales (ej. FHWA de EE. UU., Laboratorio Nacional de Costa Rica); y **Innovación Disruptiva**, con problemas bien definidos pero limitado dominio, que introduce soluciones radicales y transforma el sector (ej. TfL de Londres, DGT de España).

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

5. Modelo de negocio innovador

5.1. Canvas de modelo de negocio

Por medio del modelo CANVAS se pretende identificar la propuesta de valor, los segmentos del cliente, las fuentes de ingreso, entre otros componentes determinantes, permitiendo un análisis ágil permitiendo el desarrollo de estrategias empresariales para la toma de decisiones del proyecto.

Figura 10

Canvas del Modelo de Negocio



Nota: elaboración propia basado en el modelo CANVAS.

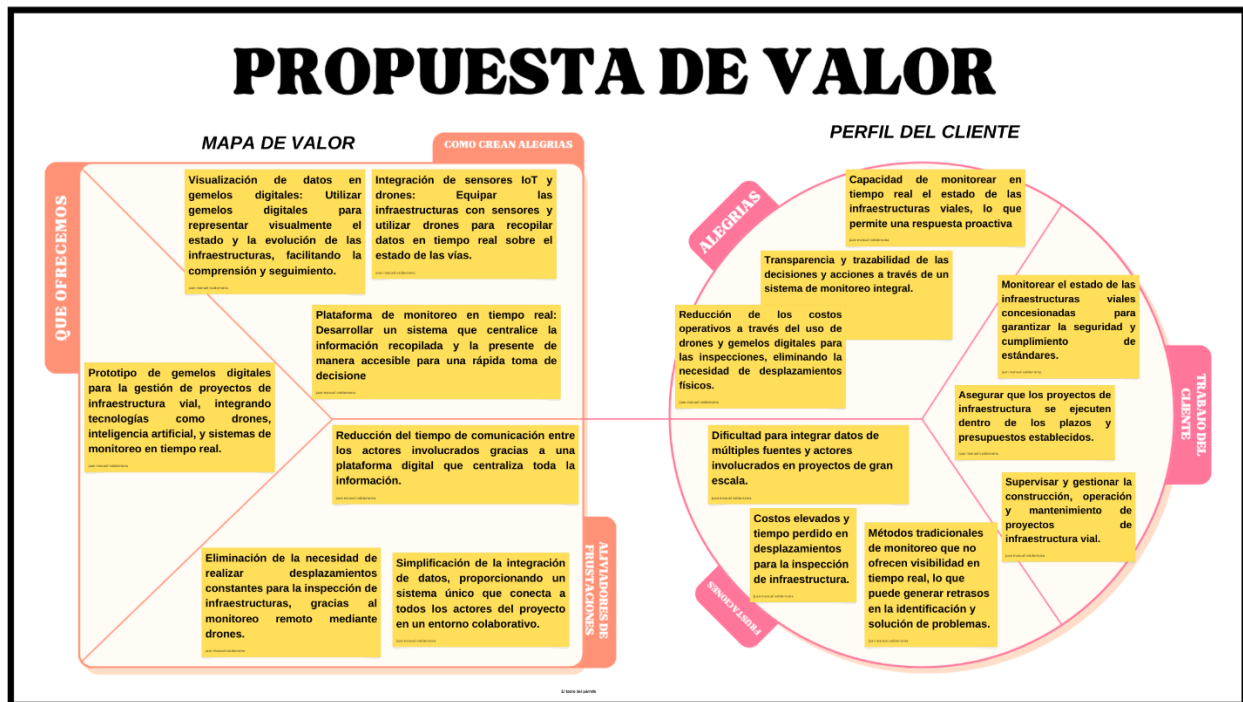
En la *Figura 10*, se realiza el análisis para determinar la propuesta de valor al implementar un gemelo digital para la Agencia Nacional de Infraestructura en donde se puede determinar que existen características como la mejora de la infraestructura vial, optimización de proyectos, transparencia entre otras, veneficios considerados positivos para la Agencia.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

5.2. Propuesta de valor canvas

Figura 11

Propuesta de Valor



Nota: La figura muestra la propuesta de valor Fuente: Elaboración propia

La propuesta integra gemelos digitales, drones, IA y monitoreo en tiempo real para gestionar proyectos de infraestructura vial, ofreciendo una visualización clara y seguimiento continuo del estado de las infraestructuras. Se incluyen gemelos digitales para mejorar la gestión de proyectos con visualización en tiempo real, sensores IoT y drones para recopilar datos precisos sobre el estado de las vías, y una plataforma centralizada que agiliza la toma de decisiones y reduce tiempos de comunicación. Además, el monitoreo remoto minimiza la necesidad de desplazamientos físicos. Entre los beneficios destacan la reducción de costos operativos gracias al uso de drones y gemelos digitales, el monitoreo en tiempo real para una gestión proactiva, y la transparencia y trazabilidad en la toma de decisiones.

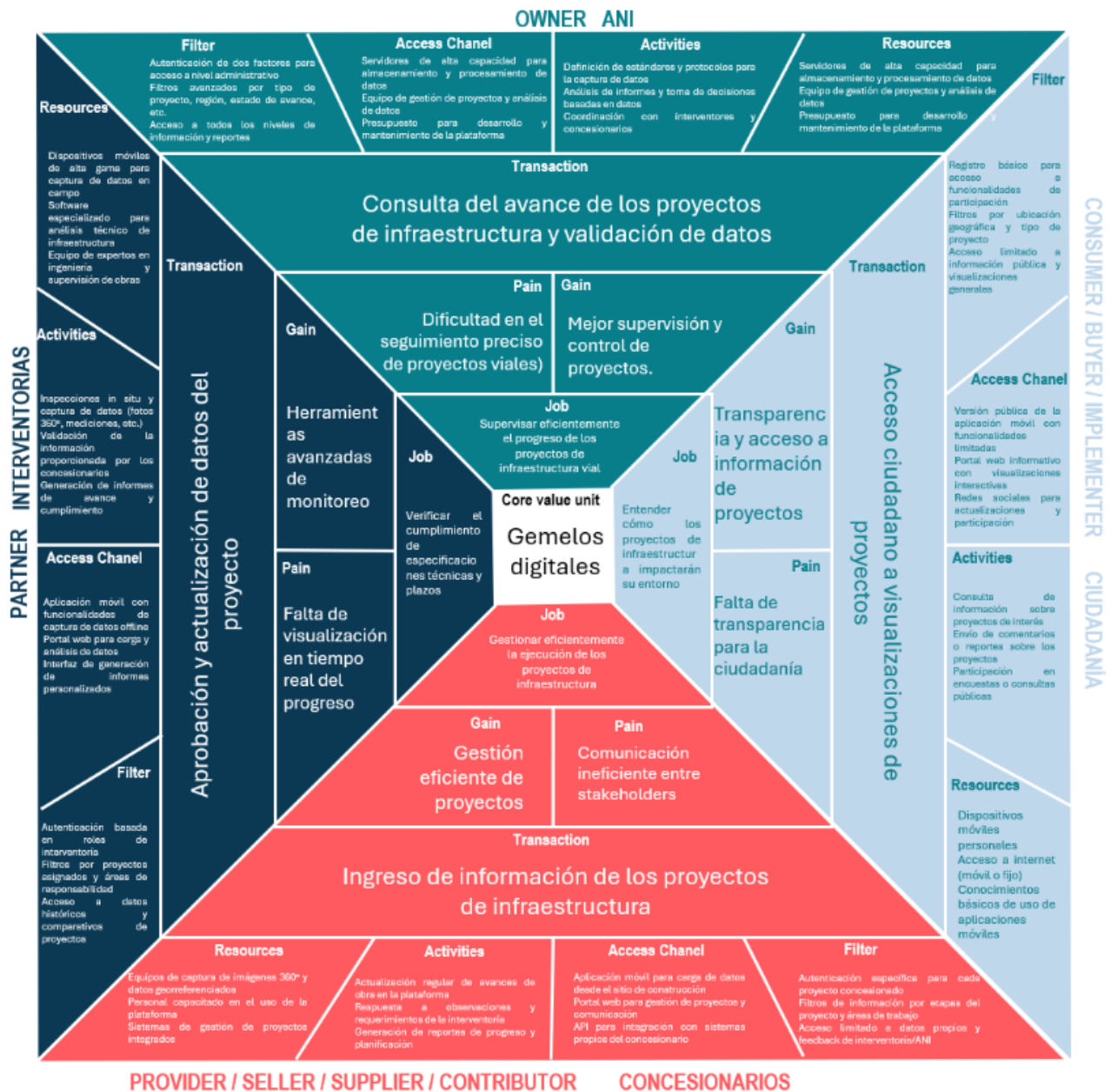
Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

5.3. Estrategia de plataforma o ecosistema

Se realizó el siguiente esquema que muestra el análisis de plataforma y ecosistema desde la perspectiva de cuatro interesados clave (el dueño, el socio, el proveedor y el consumidor)

Figura 12

Análisis de plataforma o ecosistema



Nota: Elaboración propia

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

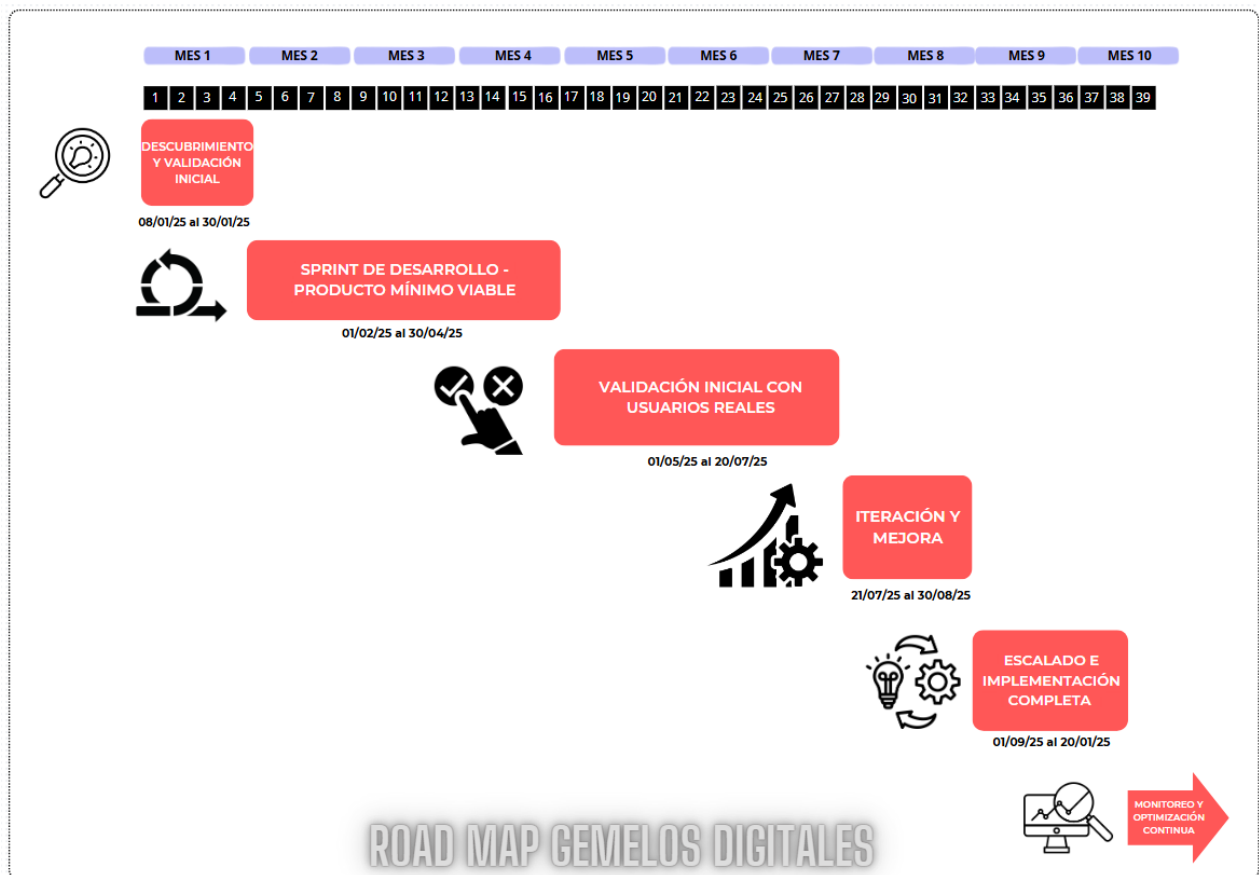
6. Plan de implementación bajo metodologías ágiles

6.1. Roadmap de innovación

Para el desarrollo del proyecto se estima una duración de 10 meses para la ejecución de 6 etapas como se muestra en el siguiente “ROAD MAP”:

Figura 13

Roadmap de innovación



Nota: Elaboración propia

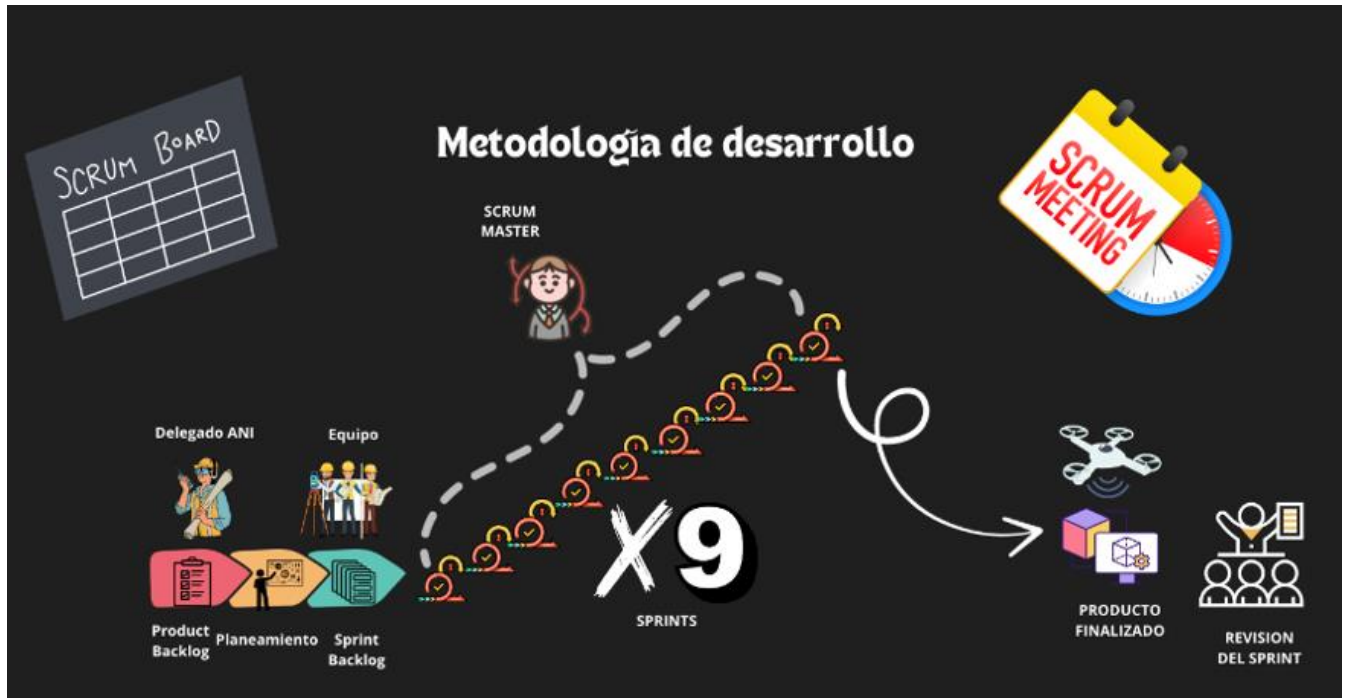
Este roadmap para el desarrollo de gemelos digitales se extiende por diez meses, dividiéndose en etapas. Inicia con la fase de descubrimiento y validación inicial, seguida de un sprint de desarrollo para crear un producto mínimo viable. Luego, se realiza una validación inicial con usuarios reales, que permite ajustar mediante la fase de iteración y mejora. Finalmente, el proceso culmina con el escalado e implementación completa, seguido de un monitoreo y optimización continua. En el anexo XXX se

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

6.2 metodología de desarrollo

Figura 14

Metodología de Desarrollo



Nota: La figura muestra la metodología de desarrollo Fuente: Elaboración propia.

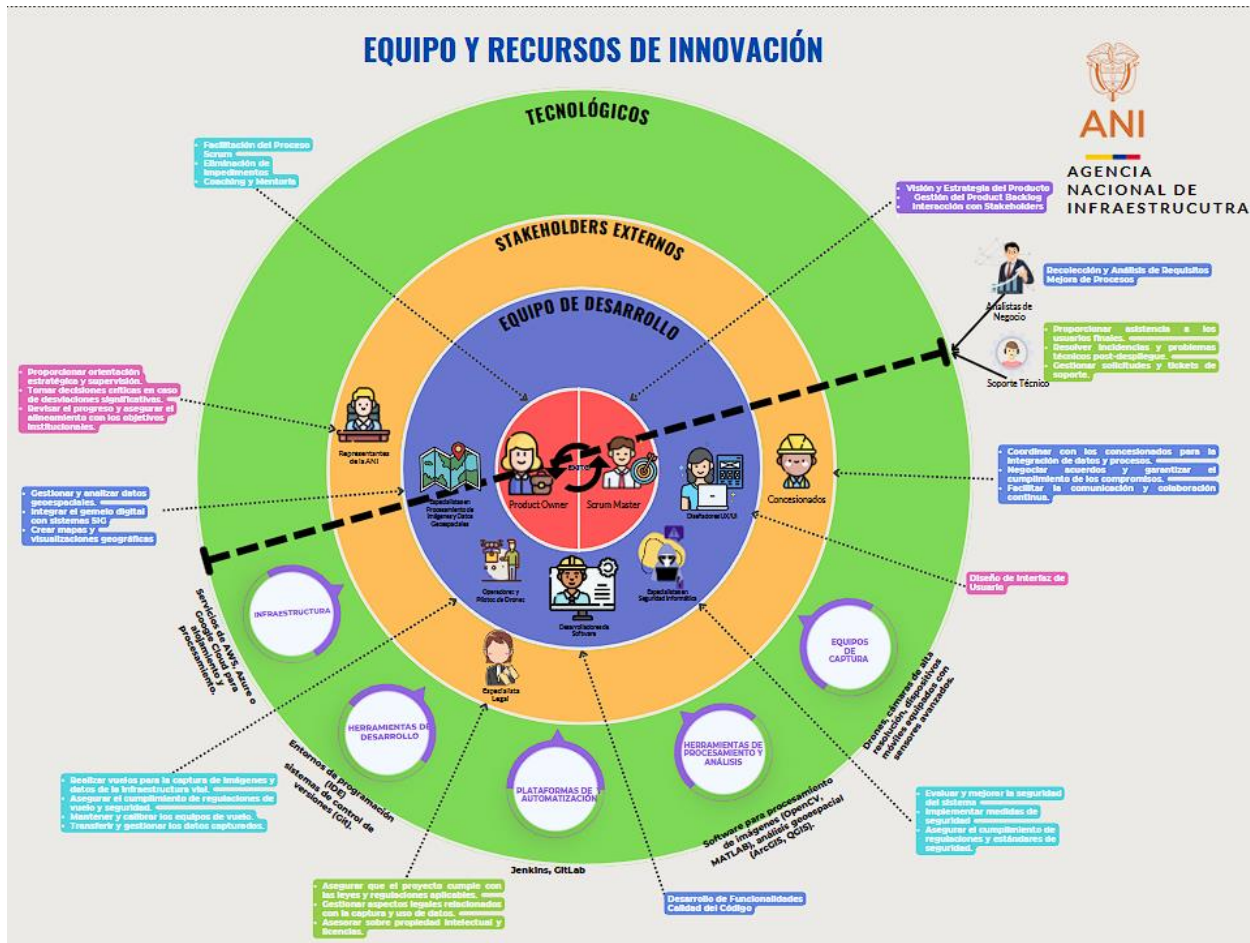
La metodología de desarrollo utiliza el marco Scrum con 9 sprints de 1 a 4 semanas cada uno. Se basa en un Product Backlog priorizado, planificaciones previas a cada sprint, y un Sprint Backlog con tareas definidas. Un Scrum Master guía al equipo, facilitando el proceso y eliminando obstáculos. Durante los sprints, se realizan reuniones diarias para monitorear el progreso, entregando incrementos funcionales al final de cada ciclo. Tras cada sprint, se realiza una revisión para recibir retroalimentación y ajustar el siguiente. El proceso culmina con la entrega de un prototipo funcional, asegurando entregas incrementales, colaboración constante y adaptación a las necesidades del proyecto.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

6.3. Equipo y recursos necesarios

Figura 15

Equipo y Recursos de Innovación



Nota: Elaboración Propia.

En la **Figura 15**, se encuentra descrito cada uno de los miembros que conforman el equipo de trabajo los cuales interactúan para el desarrollo del proyecto. a su vez se cuenta con los recursos y herramientas necesarias, el equipo y recursos permiten el desarrollo del gemelo digital para la ANI, este proceso se orienta mediante la metodología SCRUM, para el desarrollo de la aplicación, lo que permite una iteración constante, en el **Anexo G** se detalla las tablas de los equipos y recursos para el desarrollo del proyecto.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

7. Análisis Financiero y de Impacto

7.1. Proyecciones financieras y ROI de innovación

Para las proyecciones financieras inicialmente se calculó el costo de implementación de la aplicación el cual se estimó en **\$2.317.000.000 COP** en 10 meses, con unos costos de operación mensuales de **\$148.000.000 COP** (ver presupuesto en **Anexo_H**). A partir de ahí se estimaron los egresos para 3 años en **\$7.941.000.000 COP**.

De otra parte, se estimaron beneficios en reducción de tres rubros en la ANI (gastos de operación 0.5%, gastos de viaje 1%, y gastos de mantenimiento 0.5%) los cuales se tomaron de los estados financieros de la ANI. Estos beneficios se perciben una vez este implementada la aplicación (después del mes 10). Los beneficios para 3 años se estimaron en \$20.619.339.667 COP. A continuación, se muestra el flujo de caja del proyecto:

Tabla 1

Flujo del proyecto en millones de pesos

PERIODO (AÑOS)	0	1	2	3	TOTAL
EGRESOS	-\$2.613	-\$1.776	-\$1.776	-\$1.776	-\$7.941
BENEFICIOS	\$1.085	\$6.511	\$6.511	\$6.511	\$20.619
FLUJO	-\$1.527	\$4.735	\$4.735	\$4.735	\$12.678
FLUJO ACUMULADO	-\$1.527	\$3.207	\$7.942	\$12.678	

Nota: Elaboración propia

Con este flujo y asumiendo una Tasa de Interés de Oportunidad TIO del 30% se calcularon los siguientes indicadores financieros que muestran la viabilidad financiera del proyecto:

Tabla 2

Indicadores financieros del proyecto

TIR	ROI	VPN	PERIODO DE RECUPERACIÓN
305%	485%	\$ 7.072.195.623	1,32 años

Nota: Elaboración propia

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Los indicadores financieros del proyecto muestran resultados excepcionalmente favorables en todos los aspectos evaluados. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es de **305%**, sustancialmente superior a la Tasa de Interés de Oportunidad (TIO) del **30%**, el Retorno sobre la Inversión (ROI) es **485%**, por cada peso invertido se obtienen **4.85** pesos de retorno, el Valor Presente Neto (VPN) es positivo en **\$7,072,195,623** COP, el periodo de recuperación es rápido en **1.32 años** (aproximadamente 1 año y 4 meses).

7.2. Análisis de escenarios

Como se mencionó anteriormente, para el escenario base visto en la sección anterior se estimaron beneficios en una reducción porcentual de gastos de operación 0.5%, gastos de viaje 1%, y gastos de mantenimiento 0.5%, se realizó la simulación de escenarios uno optimista y otro pesimista modificando el valor de la inversión y los porcentajes de los beneficios esperados. A continuación, se muestra los resultados para cada escenario simulado.

Tabla 3

Análisis de escenarios

PARAMETRO	Escenario		
	Base	Peor	Mejor
Costo de implementación	-\$ 2.613.000.000	-\$ 5.226.000.000	-\$ 2.613.000.000
Ingresos	\$ 20.619.339.667	\$ 16.486.166.077	\$ 41.215.415.193
Egresos	-\$ 7.941.000.000	-\$ 15.882.000.000	-\$ 7.941.000.000
Beneficio Neto	\$ 12.678.339.667	\$ 604.166.077	\$ 33.274.415.193
TIO	30%	30%	30%
TIR	305%	7%	2533%
ROI	485%	12%	1273%
VPN	\$ 7.072.195.623	-\$ 1.354.169.926	\$ 19.968.241.092
Periodo de recuperación (años)	1,32	3,63	1,04

Nota: Elaboración propia

El análisis de los escenarios muestra que el peor escenario reduce drásticamente el VPN a un valor negativo y disminuye la TIR al 7%, en contraste, el escenario mejor proyecta un retorno extraordinario, con una TIR del 2533% y un periodo de recuperación de poco más de un año, reflejando el potencial de rentabilidad en condiciones óptimas.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

7.3. Impacto social y ambiental

Figura 16

Matriz de Impacto



Nota: La figura muestra la matriz P5 donde se evalúa el impacto de los proyectos de construcción de infraestructura vial. Fuente: Elaboración propia

La Matriz P5 evalúa el impacto de proyectos de infraestructura en cinco áreas: Producto, Procesos, Prácticas Laborales, Sociedad y Consumidores, y Medio Ambiente. Como se muestra en la **Figura 16**, Los gemelos digitales mejoran cada una al extender la vida útil de los productos con mantenimiento predictivo, optimizar la gestión de proyectos, generar empleos calificados y fomentar la capacitación, asegurar el cumplimiento normativo y reducir las emisiones de CO2 al minimizar desplazamientos físicos. En conjunto, la implementación de gemelos digitales promueve la sostenibilidad al optimizar procesos y disminuir impactos ambientales.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

8. Gestión de riesgos y oportunidades

8.1 Matriz de riesgos y estrategias de mitigación:

Con el fin de identificar los riesgos potenciales a los cuales se enfrenta el proyecto, se desarrolla la matriz de riesgos, la cual se puede consultar en el **Anexo I**, la cual sirve para identificar de una manera temprana los riesgos potenciales, lo que ayuda a establecer su nivel de amenaza, con el fin de tomar decisiones y a su vez mitigar dichos riesgos.

Para el proyecto de propuesta de implementación de gemelos digitales para la ANI, se identifican riesgo los cuales en su denominación inicial se clasifican entre altos y extremos, esto teniendo en cuenta su probabilidad e impacto, de los riesgos clasificados en Extremos se encuentran posibles “fallas en el funcionamiento de la aplicación”, por lo que se implementan controles como la implementación de sistemas redundantes y sistemas de monitoreo en tiempo real que mitiguen estos posibles fallos, a su vez se encuentra el riesgo de vulnerabilidades en la ciberseguridad, este riesgo es importante analizarlo ya que los sistemas de información actualmente juegan un papel importante en el desarrollo de las empresas y por ende deben estar protegidos contra ciberataques, el riesgo de pérdida de información para un proyecto de infraestructura para la ANI, por lo que los controles permiten prevenir consecuencias indeseadas.

El proyecto cuenta con el análisis de 8 riesgos principales como se observa en el **Anexo I**, con su respectivo tratamiento, actividad, responsable del monitoreo, forma en que se realiza el control, a su vez se realiza el análisis de probabilidad de ocurrencia después de la implementación de los controles, obteniendo una disminución en la prioridad. Por otra parte, en caso de que se materialice el riesgo se cuenta con un plan de contingencia.

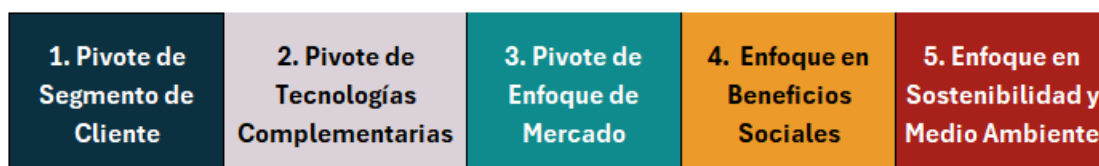
Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

8.2 Análisis de pivote

Para este análisis de pivote se sugiere cinco alternativas estratégicas para mejorar su alcance y efectividad: ampliar el segmento de clientes, incorporar tecnologías complementarias, diversificar el enfoque de mercado, maximizar los beneficios sociales y priorizar la sostenibilidad ambiental. Cada opción ofrece ventajas; por ejemplo, expandir el segmento de clientes permite reducir la dependencia de un solo organismo, mientras que el uso de tecnologías avanzadas, como Blockchain, mejora la seguridad y trazabilidad de los datos. Además, enfocar el proyecto en la sostenibilidad o en los beneficios sociales refuerza el compromiso con los objetivos de la ANI y contribuye a una imagen pública positiva y responsable.

Figura 17

Pivotes analizados



Nota: Elaboración propia

Sin embargo, cada opción conlleva desafíos que deben gestionarse. Por ejemplo, expandir el mercado o integrar nuevas tecnologías requiere recursos adicionales y aumenta la complejidad técnica, mientras que el enfoque en beneficios sociales o sostenibilidad demanda justificación en términos de impacto y mayores costos de desarrollo. Para atender estos retos, se proponen acciones como la adaptación del producto a las necesidades específicas de nuevos clientes, la capacitación en tecnologías emergentes, y la colaboración con expertos y otras entidades.

En el **Anexo J** se puede ver la matriz de análisis de pivote (opciones, alternativas)

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

8.3 Oportunidades de escalabilidad y crecimiento futuro

Figura 18

Matriz ANSOFF



Nota: La figura muestra la matriz ANSOFF. Fuente: Elaboración propia

La Matriz Ansoff, **Figura 18**, muestra estrategias para expandir el uso de gemelos digitales en diferentes mercados y productos. Para la **Penetración del Mercado**, se busca aumentar la adopción entre usuarios actuales a través de formación interna y mejoras basadas en retroalimentación. En el **Desarrollo del Producto**, se propone integrar nuevas funciones como análisis predictivo con IA y realidad aumentada para mejorar la gestión de proyectos. El **Desarrollo de Mercado** se centra en crear alianzas estratégicas y participar en eventos para atraer nuevos usuarios y mercados. Finalmente, la **Diversificación** explora la aplicación de gemelos digitales en nuevos sectores, como energía, y ofrece servicios de consultoría para su implementación. Estas estrategias buscan consolidar y expandir el uso de gemelos digitales, diversificando su aplicación y atrayendo nuevos mercados.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

9. Métricas de éxito y KPIs de Innovación

9.1. OKRs (Objectives and Key Results) del proyecto

Con el fin de establecer metas estratégicas para el proyecto de implementación de gemelos digitales se elaboran 03 OKR los cuales tiene las siguientes características:

- Evaluar y Diagnosticar la Viabilidad de Gemelos Digitales para la Gestión de Activos en Infraestructura Vial de la ANI
- Validar la Propuesta de Implementación de Gemelos Digitales con las Partes Interesadas
- Definir y Establecer el Plan de Implementación de la Propuesta de Gemelos Digitales

Los OKR propuestos se encuentran alineados con los objetivos del proyecto y de la organización, lo que permite mejorar la comunicación entre entidades y concesionarias.

Teniendo los objetivos claros se determinan aspectos claves que permiten la motivación y el compromiso por parte del equipo de trabajo.

Cada uno de los resultados clave se encuentra estructurado bajo métricas medibles, que permiten verificar los avances del proceso, esto hace que se identifique rápidamente si se está cumpliendo los objetivos o si se requiere un ajuste.

En el **Anexo K**, se presenta la matriz completa, que incluye los 03 OKR, cada uno de estos, posee un plazo y responsable, por cada OKR se posee 02 resultados claves y 02 tareas por resultado, como se determinó anteriormente, todos esto se encuentra alineados con las metas para desarrollar la propuesta de implementación de un gemelo digital para la Agencia Nacional de Infraestructura.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

9.2. Métricas de innovación

Las métricas para la implementación de la aplicación de gemelos digitales en la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), están agrupadas en categorías que van desde la captura y procesamiento de datos hasta la evaluación del valor de negocio. La primera categoría, "**Captura y Procesamiento de Datos**", incluye indicadores como la "Precisión de la Digitalización", que mide la fidelidad del modelo 3D comparado con el activo real, y la "Eficiencia de Procesamiento", que evalúa el tiempo total necesario para generar el modelo desde los datos recolectados, con un objetivo de menos de 4 horas por modelo. También se evalúa la "Cobertura de Captura", asegurando que se alcance al menos el 98% del área del activo para evitar zonas sin datos, lo cual es útil en infraestructuras de difícil acceso.

La siguiente categoría, "**Calidad del Gemelo Digital**", muestra la precisión y detalle del modelo 3D, lo que incluye la "Precisión Georreferencial", que verifica la exactitud de la ubicación del modelo en relación con coordenadas reales. La "Resolución del Modelo" mide la densidad de puntos o polígonos. La "Integridad de Atributos", se refiere a la información técnica y de mantenimiento para que esté completa y precisa.

Por último, en "**Rendimiento Operativo**" y "**Valor de Negocio**", se muestran indicadores que evalúan la actualización y disponibilidad del sistema, tales como el "Tiempo de Actualización" y la "Disponibilidad del Sistema". La "Velocidad de Consulta" mide la rapidez de respuesta del sistema para generar informes. Además, se consideran aspectos financieros y de adopción, como el "ROI en Mantenimiento" y la "Efectividad en Detección", que mide la capacidad del sistema para identificar problemas estructurales.

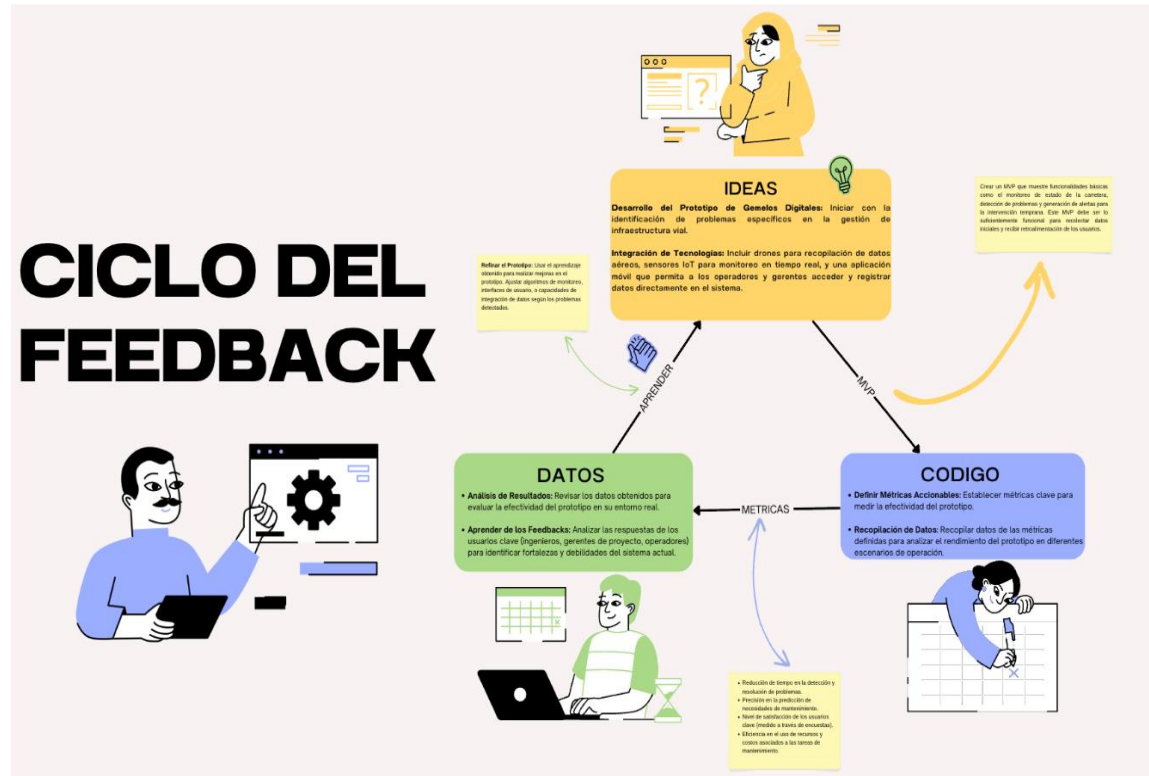
En el **Anexo L** se muestra la tabla con las métricas mencionadas.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

9.3 Plan de medición y evaluación continua

Figura 19

Ciclo del Feedback



Nota: La figura muestra el ciclo del feedback. Fuente: Elaboración propia.

El "Ciclo del Feedback", **Figura 19**, se muestra como un proceso iterativo que mejora continuamente el prototipo de gemelos digitales para la gestión de infraestructura vial. Comienza con la generación de ideas para identificar problemas específicos y proponer un MVP que integre tecnologías como drones e IoT para monitoreo en tiempo real. Luego, se desarrollan métricas clave y se recopilan datos operativos para evaluar la efectividad del sistema. A través del análisis de estos datos y la retroalimentación de usuarios clave, se identifican áreas de mejora que permiten ajustar el prototipo, optimizando su rendimiento y adaptabilidad. Este ciclo repetitivo asegura que el sistema se perfeccione continuamente, respondiendo a las necesidades reales y estándares de calidad para la gestión de infraestructura.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

10. Plan de gestión del cambio y adopción

En esta sección se presenta lo correspondiente al plan de gestión del cambio, el plan de capacitaciones y un el diagrama de cultura del cambio.

10.1 Plan de gestión de cambio

Para poder analizar la gestión del cambio se elaboró una matriz de comunicación que se puede consultar en el **Anexo M**, la cual permite identificar, gestionar y analizar de una forma organizada y estructurada los diferentes aspectos necesarios para la implementación del cambio, a su vez permite verificar una correcta adopción de políticas para mitigar la resistencia al cambio.

En la matriz se pueden identificar los siguientes factores:

- La audiencia a la que se encuentra dirigido en este caso podemos ver algunos como la dirección de la ANI, el equipo de proyectos, agencias gubernamentales, entre otras las cuales se encuentran clasificadas como de carácter interno o externo.
- Se establece el objetivo de comunicación.
- Mensajes clave los cuales se encuentra orientados a cumplir con los objetivos de comunicación.
- Se Establecen los canales de comunicación, en los cuales se encuentran reuniones, comunicaciones formales e informales, plataformas colaborativas, entre otras.
- Cada uno de los objetivos de comunicación cumplen con unos plazos establecidos dentro de las fases del proyecto.
- Los responsables de cada uno de los objetivos, desde los gerentes de proyecto hasta los miembros del equipo de trabajo de TI
- Métricas: cada uno de los objetivos son medibles y cuentan con métricas, por lo que se determina como se medirá el éxito de las acciones para la gestión del cambio.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

10.2 Plan de capacitaciones y desarrollo de competencias

El Plan de capacitaciones y desarrollo de competencias dividido en ocho fases para implementar el uso de gemelos digitales en la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). La primera fase, "**Fundamentos y Contextualización**", comprende el concepto de gemelos digitales mediante sesiones teóricas y casos de estudio dirigidos a directivos y gerentes, con un indicador de éxito que busca un 90% de aprobación en evaluaciones. La segunda fase, "Captura de Datos", capacita a operadores en la captura de datos mediante drones y cámaras 360° a través de talleres y ejercicios prácticos, con la certificación de competencias.

La tercera y cuarta fases se enfocan en el "Uso de la Aplicación" en sus niveles básico y avanzado, donde los usuarios y analistas son capacitados en funciones esenciales y avanzadas mediante capacitaciones prácticas y tutoriales. La quinta fase, "Gestión de Activos", está dirigida a gerentes y tomadores de decisiones, enseñándoles a aplicar herramientas de gestión mediante simulaciones y talleres. Se espera que esta fase mejore en un 30% la eficiencia en la toma de decisiones.

Las fases finales son la "Administración del Sistema", la "Formación de Formadores" y la "Mejora Continua". En la sexta fase se capacita al personal TI en la administración del sistema. La séptima fase desarrolla la capacidad de entrenamiento entre formadores internos. Finalmente, la octava fase, "Mejora Continua", establece un proceso de retroalimentación continua mediante workshops y comunidades de práctica para todos los usuarios.

La matriz con el plan detallado se puede consultar en el **Anexo N**

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

10.3 Cultura de innovación y mejora continua:

Figura 20

Matriz de Cultura de Innovación y Mejora Continua.



Nota: La figura muestra la cultura de innovación y mejora continua. Fuente: Elaboración propia

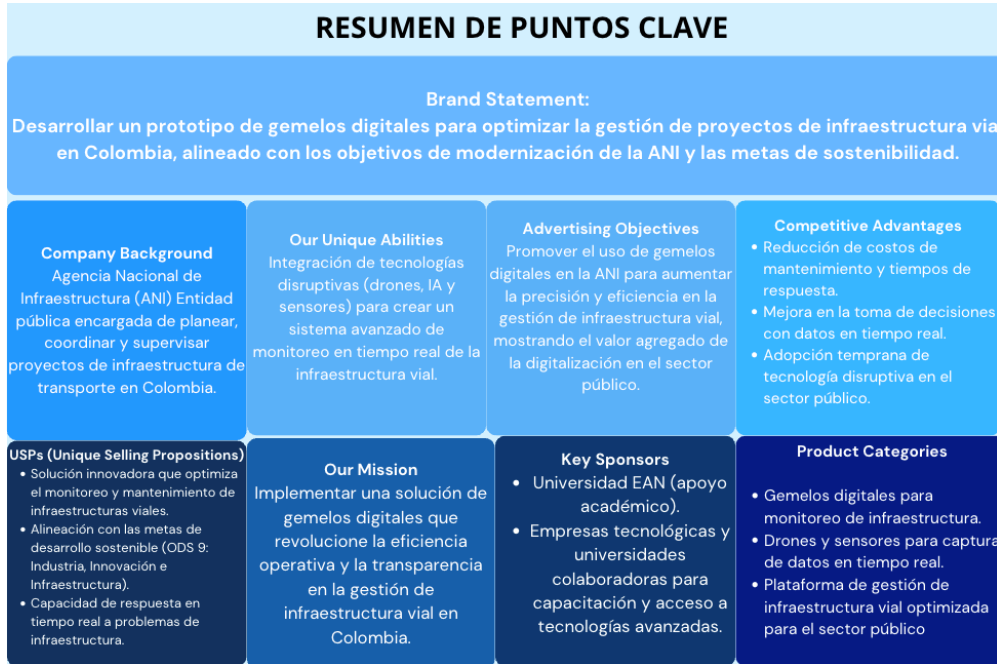
El enfoque para fomentar la innovación en organizaciones se centra en promover valores desarrollados creatividad, agilidad, colaboración y mejora continua, apoyados por incentivos que impulsan proyectos innovadores y programas de capacitación. Además, se utilizan métricas clave para evaluar resultados, como el desarrollo de prototipos y la adopción tecnológica. Para superar la resistencia al cambio, se implementan estrategias de comunicación, liderazgo activo y recompensas por adaptación, creando un entorno donde la innovación se integra de manera efectiva en las operaciones diarias, fortaleciendo la cultura organizacional.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Conclusiones y Recomendaciones

Figura 21.

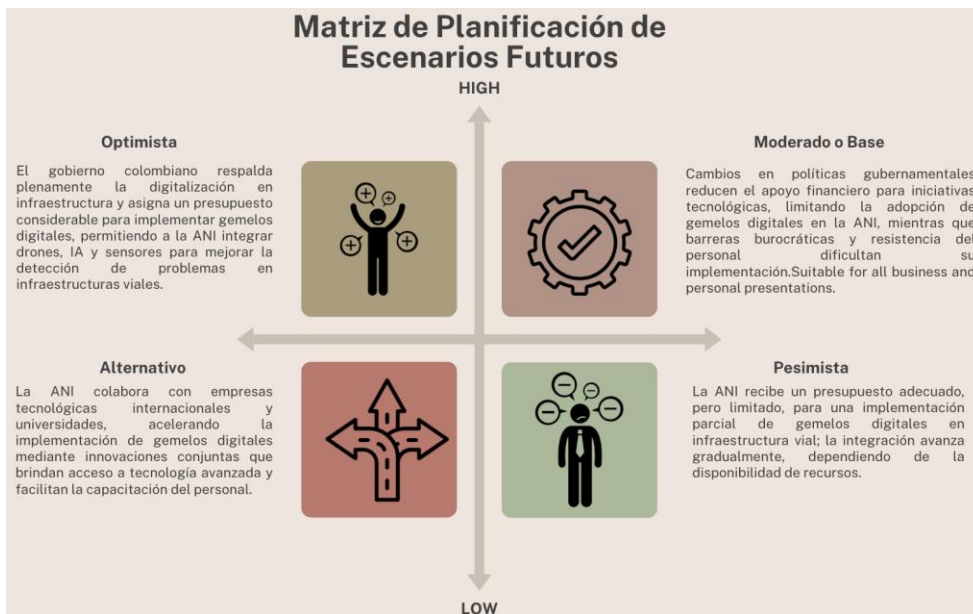
Resumen de Puntos Clave



Nota: Elaboración propia.

Figura 22

Matriz de Planificación de Escenarios Futuros



Nota: Elaboración propia.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Con el fin de determinar y tener una alineación con los objetivos específicos de la propuesta, se establecen las siguientes conclusiones:

La implementación de gemelos digitales en la ANI demuestra ser una solución innovadora que permite optimizar la inspección y el seguimiento de infraestructura vial. Esta tecnología facilita un monitoreo preciso, mejora la eficiencia operativa y reduce costos a largo plazo, alineándose con los objetivos estratégicos de modernización y sostenibilidad.

El diagnóstico revela que los procesos actuales presentan ineficiencias que pueden abordarse mediante la digitalización. La integración de gemelos digitales promete mejorar la precisión en la supervisión de activos, minimizando la necesidad de desplazamientos físicos y contribuyendo a una gestión más ágil y eficaz.

La propuesta recibió una aceptación significativa por parte de las partes interesadas, lo que indica una disposición favorable para adoptar la tecnología. Las reuniones y talleres propuestos permitirán ajustar la implementación de acuerdo con las necesidades y expectativas de cada grupo involucrado, asegurando un proyecto cohesionado y alineado con las demandas del sector.

Se estableció un plan de implementación estructurado en fases, que abarca desde el desarrollo inicial hasta la optimización continua. Este enfoque asegura una ejecución ágil, minimiza los riesgos asociados y promueve la escalabilidad del proyecto, sentando las bases para una adopción efectiva de los gemelos digitales en la ANI y consolidando su rol como entidad innovadora en la infraestructura vial.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Referencias

Bohórquez Arévalo, L. E., Caro Ballestas, A. S., & Morales, N. D. (2017). Impacto de la capacitación del personal en la productividad empresarial: Caso hipermercado. *Dimensión empresarial*, 15(1), 210-220.

Cando-Segovia, M. R., & Chicaiza, R. P. M. (2021). Prevención en ciberseguridad: Enfocada a los procesos de infraestructura tecnológica. *3 c TIC: cuadernos de desarrollo aplicados a las TIC*, 10(1), 17-41.

Clarke, H. A. (2023). *Gemelos digitales urbanos*.

Cont, W., Romero, C., Lleras, G., Unda, R., Celani, M., Gartner, A., Capelli, L., Zipitría, L., Besfamille, M., & Figueroa, N. (2021). *IDEAL 2021: El impacto de la digitalización para reducir brechas y mejorar los servicios de infraestructura*.

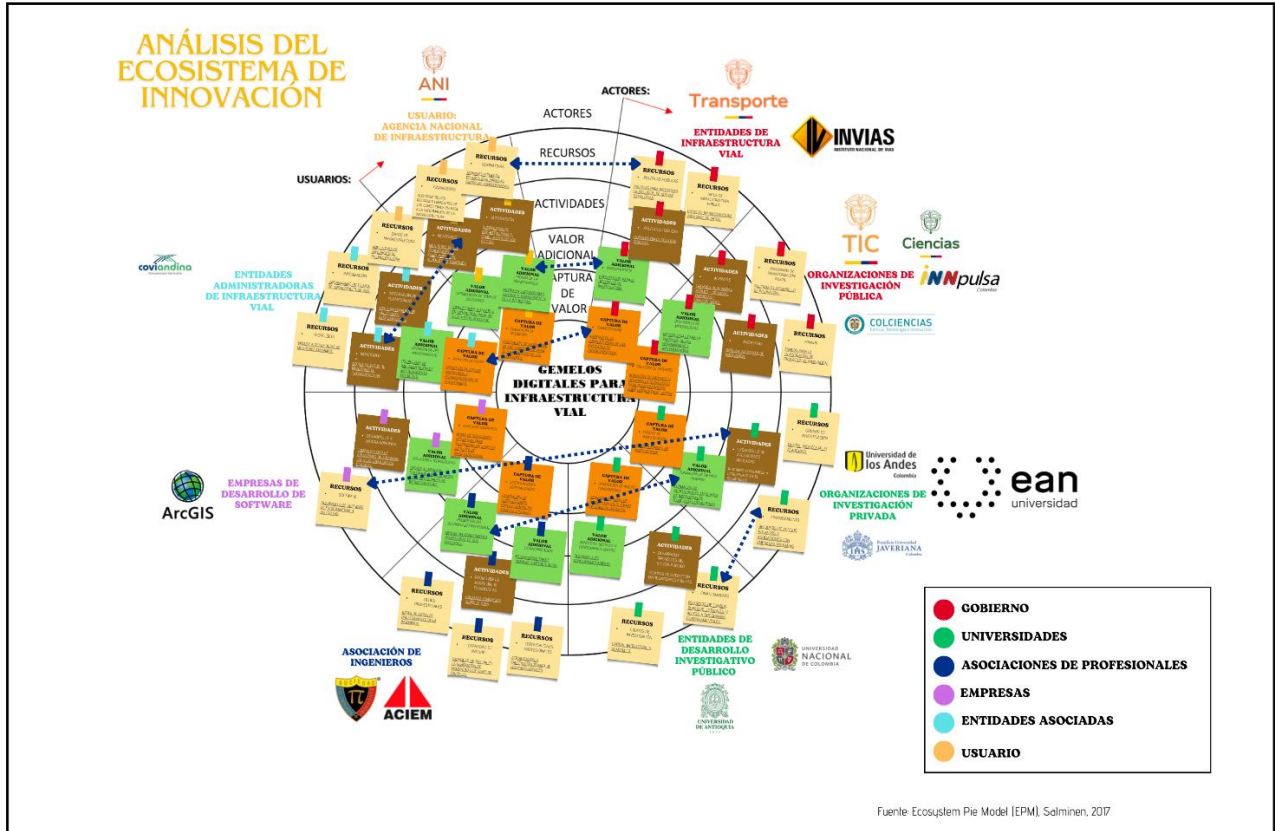
Departamento Nacional De Planeación -DNP-. (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 Colombia potencia mundial de la vida*. Recuperado de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf)

Jara Inostroza, J. A. (2024). *Generación automática de visualizaciones de datos: Integración con fuentes de datos*.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

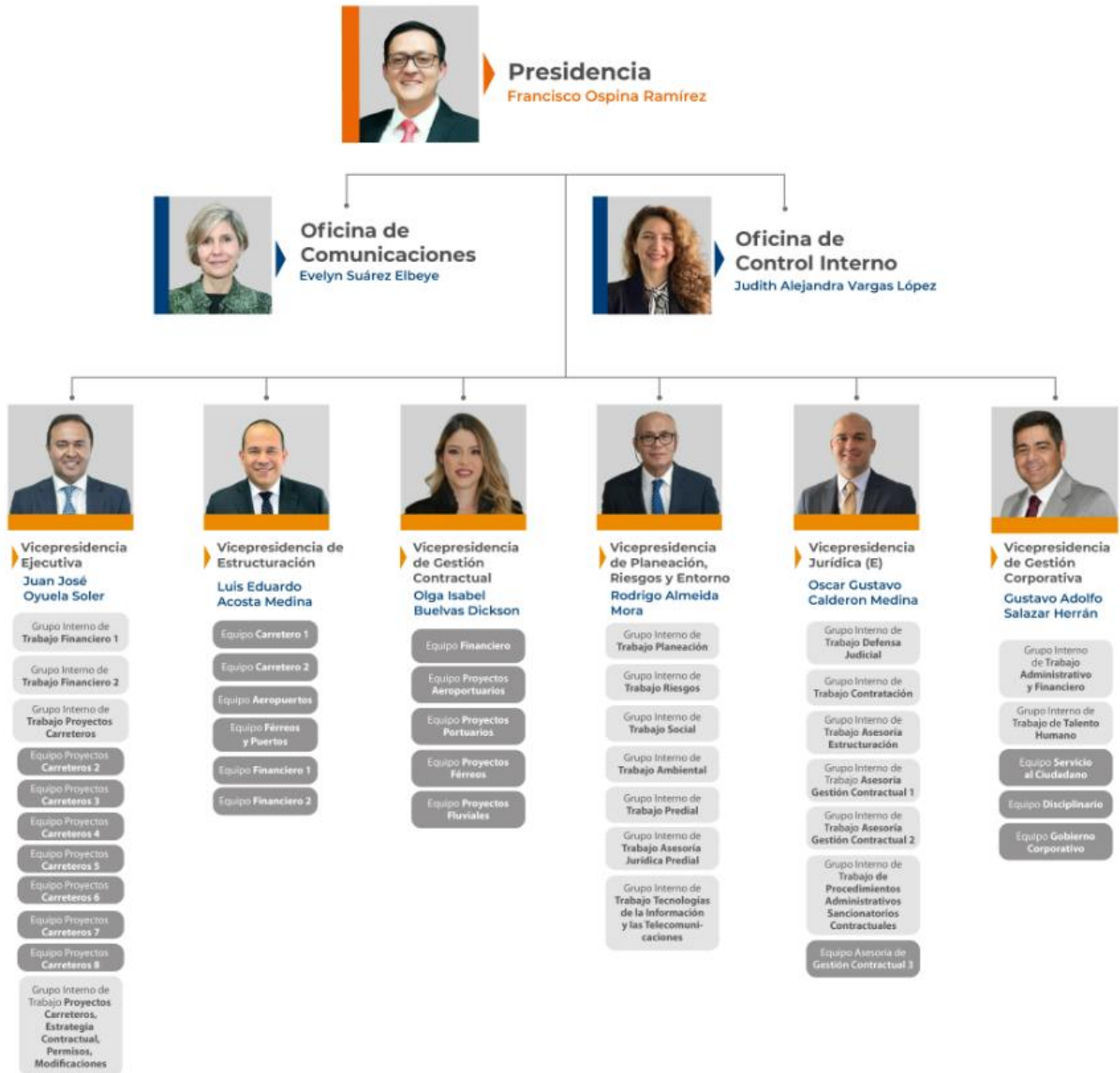
Anexos

Anexo A. Análisis del ecosistema de innovación.



Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

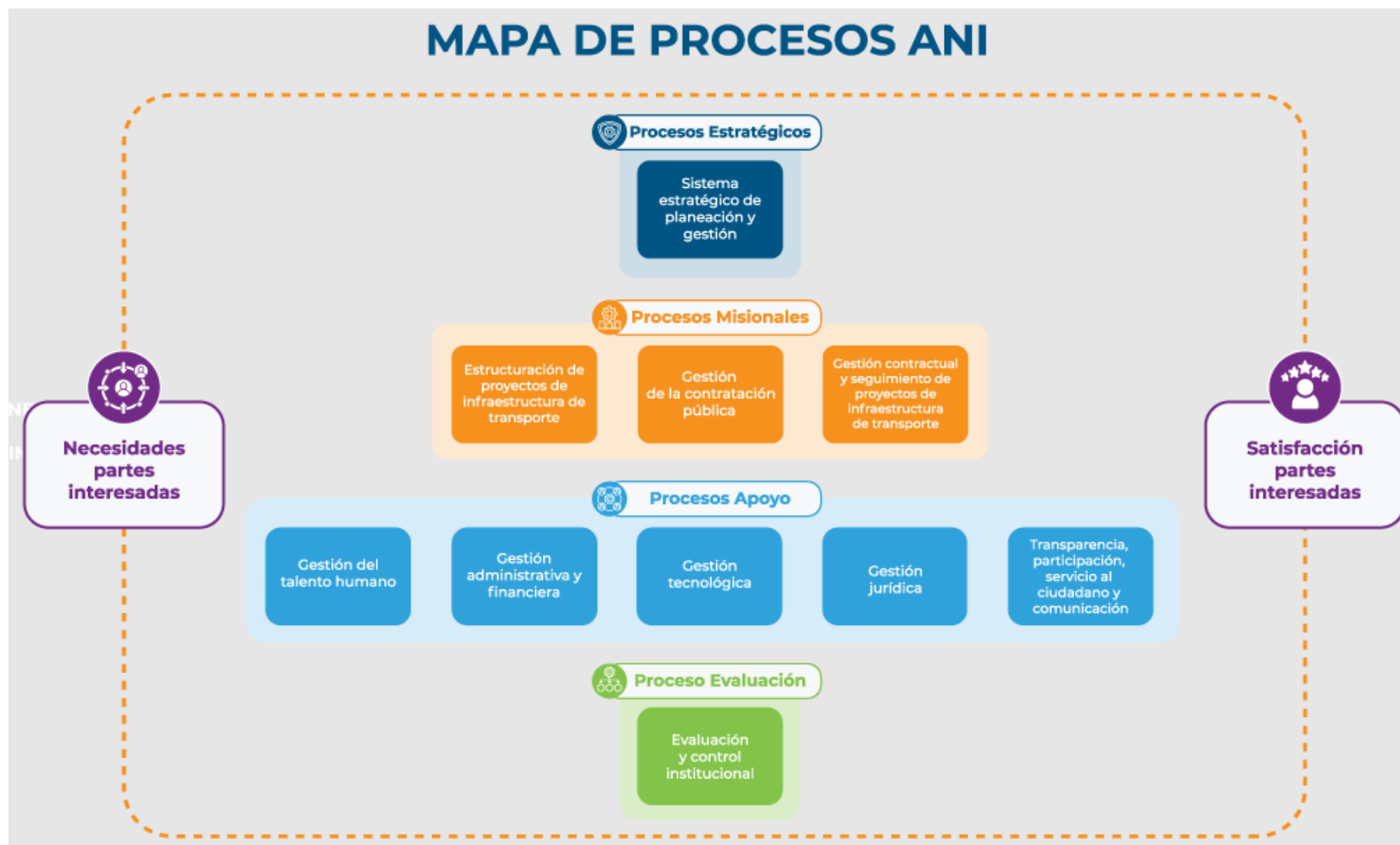
Anexo B Estructura organizacional de la ANI



Fuente: www.ani.gov.co

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo C Mapa de procesos ANI



Fuente: www.ani.gov.co

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo D Matriz DOFA ANI

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Alineación directa con el objetivo estratégico 3.2 de implementación de herramientas tecnológicas para seguimiento y monitoreo	Curva de aprendizaje significativa para el personal en nuevas tecnologías
Respaldo de la estructura organizacional existente con áreas especializadas en TI	Necesidad de adaptación y actualización de procesos existentes
Infraestructura tecnológica base ya implementada en la ANI	Limitaciones en la capacidad actual de procesamiento y almacenamiento de datos
Experiencia en gestión de proyectos de infraestructura vial	Dependencia de la calidad de la conectividad en campo
Existencia de procesos definidos para seguimiento y control	Resistencia inicial al cambio en metodologías tradicionales
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
Optimización en tiempos y costos de inspección de infraestructura	Rápida evolución tecnológica que pueda dejar obsoletas algunas herramientas
Mejora en la precisión y objetividad del monitoreo de activos	Posibles restricciones presupuestales para mantenimiento y actualización
Creación de un repositorio digital histórico de la infraestructura	Riesgos de ciberseguridad en la gestión de datos críticos
Potencial de integración con otros sistemas de gestión de la ANI	Dependencia de proveedores tecnológicos específicos
Posibilidad de ser referente en innovación para otras entidades del sector	Cambios en normativas que afecten la implementación del sistema

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo E Storyboard implementación Gemelos Digitales

TITLE GEMELOS DIGITALES PARA LA INSPECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL

PAGE 01 OF 02

DATE 12/09/2024

CUADRO 1



Toma de información, verificación y seguimiento de obra con métodos tradicionales, visitas en sitio.

CUADRO 2



recopilación de información extensa en elementos de tamaño reducido como planos físicos o reportes en papel

CUADRO 3



Desorden en la información al momento de exponer a los directivos, o cuando quieren realizar seguimiento sin necesidad de desplazamientos

CUADRO 4



Debido a la ineficiencia en la toma de la información y el seguimiento de indicadores de obra, se exploran alternativas con tecnologías disruptivas

CUADRO 5



existen tecnologías que permiten la toma de datos 3D por medio de los dispositivos móviles, información que se digitaliza

CUADRO 6



existen tecnologías como uso de drones que permiten tomar fotos extensas de terreno y digitalizarlas por medio de técnicas como fotogrametría.

TITLE GEMELOS DIGITALES PARA LA INSPECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL

PAGE 02 OF 02

DATE 12/09/2024

CUADRO 7



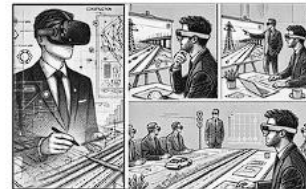
Se exploran medios que permiten unificar dichas tecnologías para generar información en tiempo real y de fácil acceso en cualquier lugar.

CUADRO 8



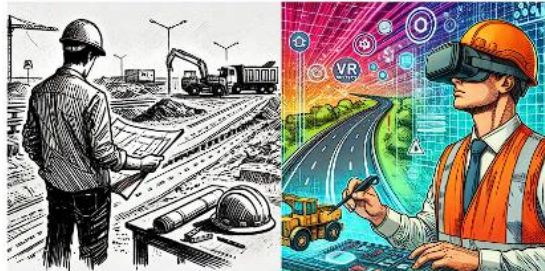
Se presentan dichos resultados de forma individual en formato digital, pero no se encuentra unificada por parte de los concesionados, en una plataforma única.

CUADRO 9



Se descubre que por medio de Gemelos digitales se puede integrar toda la información y tener una plataforma para la inspección y seguimiento de los indicadores.

CUADRO 10



Las visitas que antes se debían realizar físicamente con jornadas extenuantes y gasto de recursos y en donde los concesionados manejaban sus propias plataformas se unificó mediante un estándar usando gemelos digitales

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo F Cronograma detallado

Actividad	Fase	Subactividad	Fecha de Inicio	Fecha de Fin	Duración (Días)
1	Descubrimiento y Validación Inicial	Investigación de mercado	08/01/2025	12/01/2025	5
2	Descubrimiento y Validación Inicial	Análisis de requisitos	13/01/2025	18/01/2025	5
3	Descubrimiento y Validación Inicial	Definición de objetivos del proyecto	19/01/2025	23/01/2025	5
4	Descubrimiento y Validación Inicial	Validación preliminar con stakeholders	24/01/2025	30/01/2025	7
5	Sprint de Desarrollo - Producto Mínimo Viable	Diseño del prototipo	01/02/2025	10/02/2025	10
6	Sprint de Desarrollo - Producto Mínimo Viable	Desarrollo de la arquitectura básica	11/02/2025	28/02/2025	18
7	Sprint de Desarrollo - Producto Mínimo Viable	Implementación de funcionalidades clave	01/03/2025	31/03/2025	30
8	Sprint de Desarrollo - Producto Mínimo Viable	Pruebas internas y ajuste de errores	01/04/2025	15/04/2025	15
9	Sprint de Desarrollo - Producto Mínimo Viable	Revisión del PMV	16/04/2025	30/04/2025	15
10	Validación Inicial con Usuarios Reales	Selección de usuarios para pruebas	01/05/2025	05/05/2025	5
11	Validación Inicial con Usuarios Reales	Capacitación a los usuarios seleccionados	06/05/2025	10/05/2025	5
12	Validación Inicial con Usuarios Reales	Pruebas de campo	11/05/2025	15/06/2025	35
13	Validación Inicial con Usuarios Reales	Recolección de feedback de usuarios	16/06/2025	30/06/2025	15
14	Validación Inicial con Usuarios Reales	Análisis de resultados y ajustes	01/07/2025	20/07/2025	20
15	Iteración y Mejora	Identificación de áreas de mejora	21/07/2025	25/07/2025	5
16	Iteración y Mejora	Rediseño de funcionalidades según feedback	26/07/2025	10/08/2025	15
17	Iteración y Mejora	Pruebas de las mejoras implementadas	11/08/2025	20/08/2025	10
18	Iteración y Mejora	Validación final de la iteración	21/08/2025	30/08/2025	10
19	Escalado e Implementación Completa	Planificación de la implementación a gran escala	01/09/2025	10/09/2025	10
20	Escalado e Implementación Completa	Despliegue de la solución en entorno de producción	11/09/2025	20/09/2025	10
21	Escalado e Implementación Completa	Monitoreo inicial post-implementación	21/09/2025	05/10/2025	15
22	Escalado e Implementación Completa	Optimización según métricas de uso	06/10/2025	20/10/2025	15
23	Monitoreo y Optimización Continua	Revisión trimestral de rendimiento	20/10/2025	N/A	Continua
24	Monitoreo y Optimización Continua	Ajustes en tiempo real según requerimientos	20/10/2025	N/A	Continua
25	Monitoreo y Optimización Continua	Mejoras incrementales en funcionalidades	20/10/2025	N/A	Continua

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo G Tablas Equipos y recursos Clave

Tabla de Recursos Tecnológicos

Recurso Tecnológico	Cantidad	Funciones
IDEs (Entornos de Desarrollo Integrados)	6 licencias	Proporcionar herramientas de desarrollo para programadores front-end y back-end.
Sistemas de Control de Versiones (Git)	10 cuentas	Gestionar el código fuente y facilitar la colaboración entre desarrolladores.
Plataformas de Gestión de Proyectos (Jira, Trello)	5 licencias	Organizar tareas, seguimiento de proyectos y mejorar la comunicación del equipo.
Servicios en la Nube (AWS, Azure, Google Cloud)	1 suscripción	Alojamiento y procesamiento de aplicaciones, escalabilidad y gestión de recursos en la nube.
Drones	2 unidades	Captura de datos aéreos y obtención de imágenes de alta resolución.
Cámaras de Alta Resolución	2 unidades	Tomar imágenes detalladas para análisis y modelado.
Dispositivos Móviles con Sensores Avanzados	3 unidades	Recolección de datos en campo, pruebas y validación de aplicaciones móviles.
Software de Procesamiento de Imágenes (OpenCV, MATLAB)	2 licencias (MATLAB)	Análisis y procesamiento avanzado de imágenes capturadas.
Software de Análisis Geoespacial (ArcGIS, QGIS)	1 licencia (ArcGIS)	Realizar análisis espaciales y crear visualizaciones geográficas.
Plataformas de GitLab	1 servidor Jenkins	Automatizar procesos de integración y despliegue continuo.
Computadores workstation	11 unidades	Computadores con alta capacidad de procesamiento de imágenes y tarjetas gráficas para diseño en 3D
Computador Portátil	3 unidades	

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Tabla de Recursos Humanos y equipo de Trabajo

Recurso Humano	Cantidad	Funciones
Equipo de Desarrollo de Software	6	Desarrollar y mantener la aplicación, incluyendo front-end, back-end, integración continua, seguridad y aseguramiento de la calidad. Utilizar IDEs, sistemas de control de versiones (Git) y herramientas de automatización como Docker y Kubernetes.
Equipo de Análisis de Datos Geoespaciales	4	Capturar, procesar y analizar datos georreferenciados. Operar drones y equipos de sensores, realizar análisis geoespacial con ArcGIS y QGIS, y procesar imágenes utilizando OpenCV y MATLAB.
Gerente de Proyecto	1	Coordinar el proyecto, gestionar tiempos y recursos, facilitar la comunicación entre equipos y utilizar plataformas de gestión de proyectos como Jira o Trello.
Diseñador UX/UI	1	Diseñar la experiencia e interfaces de usuario, crear prototipos y wireframes, y asegurar la usabilidad y accesibilidad de la aplicación.
Operadores de Drones	2	Realizar la captura de imágenes por medio de fotogrametría de las concesiones
Formador/Capacitador	1	Desarrollar y ofrecer programas de formación en metodologías ágiles, tecnologías emergentes y seguridad informática. Apoyar en el desarrollo profesional del equipo.
Gerente de Recursos Humanos	1	Implementar planes de retención y motivación, gestionar programas de formación y capacitación, y apoyar en el bienestar y compromiso del personal.
Especialista en seguridad informática	1	Implementar medidas de seguridad
Scrum Master	1	
Equipo de soporte	3	

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo_H Presupuesto

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	SALARIO/COSTO MENSUAL	MESES	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1.	COSTO TOTAL						\$ 2.317.000.000
1.1	Personal						\$ 2.040.000.000
1.1.1	Profesionales de equipo de desarrollo de software	Und	6	\$12.000.000	10	\$ 120.000.000	\$ 720.000.000
1.1.2	Profesionales analistas de datos geoespaciales	Und	4	\$11.000.000	10	\$ 110.000.000	\$ 440.000.000
1.1.3	Gerente de proyecto	Und	1	\$15.000.000	10	\$ 150.000.000	\$ 150.000.000
1.1.4	Diseñador UX/UI	Und	1	\$10.000.000	10	\$ 100.000.000	\$ 100.000.000
1.1.5	Operadores de drones	Und	2	\$ 7.500.000	10	\$ 75.000.000	\$ 150.000.000
1.1.6	Formador/capacitador	Und	1	\$10.000.000	10	\$ 100.000.000	\$ 100.000.000
1.1.7	Especialista en seguridad informatica	Und	1	\$12.000.000	10	\$ 120.000.000	\$ 120.000.000
1.1.8	Scrum Master	Und	1	\$14.000.000	10	\$ 140.000.000	\$ 140.000.000
1.1.9	Profesionales de equipo de soporte	Und	2	\$6.000.000	10	\$ 60.000.000	\$ 120.000.000
1.2	Recursos tecnológicos						\$ 14.000.000
1.2.1	Licencia de Jira (software gestión de proyectos)	Und	1	\$200.000	10	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
1.2.2	Licencia de GitLab (Plataforma de desarrollo de software)	Und	1	\$150.000	10	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
1.2.3	Software de procesamiento de imágenes	Und	1	\$200.000	10	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
1.2.4	Servicio en la nube AWS	Und	1	\$850.000	10	\$ 8.500.000	\$ 8.500.000
1.3	Equipos						\$ 115.000.000
1.3.1	Drones	Und	3	\$10.000.000	1	\$ 10.000.000	\$ 30.000.000
1.3.2	Camaras de alta resolución	Und	3	\$15.000.000	1	\$ 15.000.000	\$ 45.000.000
1.3.3	Dispositivos móviles con sensores LiDAR	Und	10	\$4.000.000	1	\$ 4.000.000	\$ 40.000.000
1.4	Costos operativos adicionales						\$ 148.000.000
1.4.1	Formación y capacitación	Und	1	\$10.000.000	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
1.4.2	Seguridad Informatica	Und	1	\$ 12.000.000	1	\$ 12.000.000	\$ 12.000.000
1.4.3	Viajes y transporte	Und	1	\$ 6.000.000	1	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000
1.4.4	Soporte y mantenimiento	Und	20	\$ 6.000.000	1	\$ 6.000.000	\$ 120.000.000

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo I Matriz de riesgos

Proyecto: Propuesta de Implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

INSTRUCCIONES PARA LA IDENTIFICACIÓN, ANALISIS, EVALUACIÓN, ASIGNACIÓN Y TRATAMIENTO DE RIESGOS

- 1) Describa el tratamiento/controles a ser implementados
- 2) Teniendo en cuenta el tratamiento descrito, asigne la probabilidad de ocurrencia del riesgo, de conformidad con la tabla de probabilidad
- 3) Teniendo en cuenta el tratamiento descrito, asigne el impacto que generará la materialización del riesgo, de conformidad con la tabla de impacto
- 4) Al realizar las anteriores actividades se obtendrá la calificación total y la valoración del riesgo (prioridad)
- 5) Diligencie la información de las demás columnas

REF/ID	TIPO DE RIESGO	Descripción del riesgo	Probabilidad de Ocurrencia	Impacto	Calificación Total	Prioridad	Tratamiento	Actividad o Control	Responsables de monitoreo y gestión de cada riesgo	¿Cómo se realiza el control?	Periodicidad del control	Probabilidad de Ocurrencia (Riesgo residual)	Impacto Residual	Calificación Total	Prioridad	Planes de contingencia
R1	Financiero	Aumento en los costos en el desarrollo del gemelo digital, por requisitos no contemplados	3	3	6	ALTO	Reducir	Tener en cuenta un presupuesto flexible que permita tolerar variaciones (análisis financiero adecuado)	Equipo estructurador del proyecto	Uso de un sistema de gestión de costos	Cumplimiento de cada SPRING	2	2	4	BAJO	Ajustar el alcance el proyecto
R2	Legal/Contractual	Incumplimiento en las licencias de software de desarrollo	1	4	5	MEDIO	Evitar	Verificación detallada de las condiciones de licenciamiento del software	Equipo legal y de compras	solicitud de certificados de los software a utilizar	Antes del inicio del desarrollo	1	1	2	BAJO	cumplimiento de las cláusulas de licencias (legal) / implementación de software alternativo
R3	Reputación / Relaciones con el cliente	Percepción negativa por parte de la ANI y los concesionarios sobre la funcionalidad o facilidad de uso de la aplicación.	3	2	5	MEDIO	Reducir	Incluir a los concesionarios en la fase de desarrollo a través de pruebas piloto	Equipo SCRUM	Presentación de prueba piloto a los concesionarios	Cada iteración del prototipo	2	1	3	BAJO	Implementar un programa de formación intensiva
R4	Recursos	Falta de personal especializado	3	4	7	ALTO	Evitar	Comenzar el proceso de contratación con anticipación y considerar alianzas con empresas especializadas en tecnología de gemelos digitales	Departamento de recursos humanos	Base de datos de hojas de vidas del personal a contratar	al inicio del proyecto	2	2	4	BAJO	Subcontratar personal o consultores externos para cumplir con los tiempos de entrega
R5	Técnico	Fallas en la integración de la aplicación con los sistemas existentes de la ANI	1	5	6	ALTO	Mitigar	Realizar pruebas de compatibilidad e integración tempranas	Equipo de desarrollo	Check list de requerimientos de compatibilidad	Cada SPRING de desarrollo	1	1	2	BAJO	redefinir los plazos para realizar la integración completa
R6	Operacional	Falla de funcionamiento de la aplicación (BUG)	3	5	8	EXTREMO	Transferir	Implementar redundancias y sistemas de monitoreo en tiempo real / adquisición de servicios en la nube con tolerancia	Equipo de desarrollo	Estudio de mercado de proveedores de servicio en la nube	Antes del inicio del desarrollo y durante su implementación	1	2	3	BAJO	Contratar un equipo de soporte de contingencia
R7	Técnico	Vulnerabilidades en la ciberseguridad	4	4	8	EXTREMO	Mitigar	Implementar un sistema robusto de seguridad cibernética / sistema redundante	Equipo de ciberseguridad	Pruebas de vulnerabilidades	antes de la implementación	2	3	5	MEDIO	Contratar una auditoria de Ciberseguridad
R8	Cultural	Resistencia al uso de la nueva plataforma por parte del personal de la ANI o de los concesionarios.	3	5	8	EXTREMO	Evitar	Implementar un plan de gestión del cambio, para mostrar el funcionamiento y beneficios	Recursos humanos	Reuniones periódicas con el personal de la ANI y de los concesionarios,	Mensualmente	2	2	4	BAJO	Proporcionar soporte personalizado

Categoría	Valoración
Raro (puede ocurrir excepcionalmente)	1
Improbable (puede ocurrir ocasionalmente)	2
Posible (puede ocurrir en cualquier momento futuro)	3
Probable (probablemente va a ocurrir)	4
Casi cierto (ocurre en la mayoría de circunstancias)	5

Categoría	Valoración
Insignificante	1
Menor	2
Modesto	3
Mayor	4
Catastrófico	5

Valoración del Riesgo	Categoría
8, 9 y 10	Riesgo extremo
6 y 7	Riesgo alto
5	Riesgo medio
2, 3 y 4	Riesgo bajo

Calificación Cualitativa	Obstaculo la ejecución de proyecto de manera trascendente.	Dificulta la ejecución del proyecto de manera baja aplicando medidas mínimas se pueden lograr los objetivos	Afecta la ejecución del proyecto sin alterar el beneficio para las partes	Obstaculo la ejecución del proyecto sustancialmente pero aun así permite la consecución de los objetivos	Perjudica la ejecución del proyecto de manera grave imposibilitando la consecución de los objetivos.
Calificación Monetaria	Los sobrecostos no representan más del uno por ciento (1%) del valor del proyecto.	Los sobrecostos no representan más del cinco por ciento (5%) del valor del proyecto.	Genera un impacto sobre el valor del proyecto entre el cinco (5%) y el quince por ciento (15%).	Incrementa el valor del proyecto entre el quince (15%) y el treinta por ciento (30%).	Impacto sobre el valor del proyecto en más del treinta por ciento (30%).
Categoría	Insignificante	Menor	Modesto	Mayor	Catastrófico
Valoración	1	2	3	4	5
Raro (puede ocurrir excepcionalmente)	1	2	3	4	5
Improbable (puede ocurrir ocasionalmente)	2	3	4	5	6
Posible (puede ocurrir en cualquier momento futuro)	3	4	5	6	7
Probable (probablemente va a ocurrir)	4	5	6	7	8
Casi cierto (ocurre en la mayoría de circunstancias)	5	6	7	8	9
	6	7	8	9	10

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo J Análisis de pivotes

Opción de Pivote	Descripción	Ventajas	Desventajas	Acciones Necesarias
1. Pivote de Segmento de Cliente	Ampliar el mercado objetivo a nuevos clientes potenciales, como entidades del sector transporte INVIAS, MINTRANSPORTE, UPIT E IDU.	<p>Diversificación de Clientes: Reduce la dependencia de un solo organismo público (ANI) y amplía el alcance del proyecto.</p> <p>Mayor Impacto Social: Al abarcar más entidades, se contribuye a mejorar la infraestructura vial y el transporte en más regiones y sectores, generando mayores beneficios sociales.</p> <p>Sinergias Interinstitucionales: Posibilidad de compartir recursos, información y mejores prácticas entre las entidades, optimizando esfuerzos y resultados.</p>	<p>Adaptación del Producto: Requiere ajustar el proyecto para satisfacer las necesidades y requisitos específicos de cada entidad, lo que puede implicar esfuerzos adicionales de desarrollo y personalización.</p> <p>Gestión de Relaciones Complejas: Coordinar con múltiples entidades públicas puede ser complejo debido a diferencias en procesos administrativos, prioridades y burocracia.</p> <p>Recursos Adicionales: Necesidad de invertir tiempo y recursos en establecer y mantener relaciones con cada organismo, incluyendo posibles procesos de licitación y cumplimiento de normativas específicas.</p>	<p>Identificación de Necesidades: Realizar un análisis detallado de los requerimientos y expectativas de cada entidad (INVIAS, MINTRANSPORTE, UPIT, IDU).</p> <p>Adaptación del Proyecto: Modificar y personalizar la aplicación para cumplir con los estándares y necesidades de las nuevas entidades.</p> <p>Acuerdos de Colaboración: Desarrollar memorandos de entendimiento o convenios interinstitucionales que faciliten la cooperación y definición de responsabilidades.</p>
2. Pivote de Tecnologías Complementarias	Integrar tecnologías adicionales como Blockchain para mejorar el análisis y la seguridad de los datos.	<p>Mejora en el análisis de datos y detección de anomalías</p> <p>Mayor valor añadido y diferenciación en el mercado</p> <p>Seguridad y trazabilidad de datos mediante Blockchain</p>	<p>Inversión significativa en desarrollo y capacitación</p> <p>Posible complejidad técnica adicional</p> <p>Mayor tiempo de desarrollo</p>	<p>Invertir en investigación y desarrollo (I+D)</p> <p>Capacitar al equipo en nuevas tecnologías</p> <p>Establecer alianzas con expertos o empresas especializadas</p>
3. Pivote de Enfoque de Mercado	Expandir el alcance de la aplicación para incluir otros tipos de infraestructuras, como ferroviaria, portuaria y aeroportuaria.	<p>Ampliación significativa del mercado potencial</p> <p>Aprovechamiento de sinergias entre sectores</p> <p>Diversificación del portafolio de servicios</p>	<p>Mayor complejidad en el desarrollo del producto</p> <p>Necesidad de conocimiento especializado en nuevos sectores</p> <p>Recursos adicionales para investigación y adaptación</p>	<p>Realizar análisis de mercado en los nuevos sectores</p> <p>Adaptar la tecnología y funcionalidades para soportar diferentes infraestructuras</p> <p>Formar alianzas con expertos en los nuevos campos</p>
4. Enfoque en Beneficios Sociales	Reorientar el proyecto para maximizar los beneficios sociales en transporte, alineándose con los objetivos de la ANI.	<p>Mayor alineación con la misión de la ANI</p> <p>Posibilidad de apoyo y financiamiento público</p> <p>Contribución al desarrollo sostenible</p>	<p>Menor enfoque en modelos de ingresos tradicionales</p> <p>Necesidad de justificar impacto social</p>	<p>Identificar y medir indicadores de impacto social</p> <p>Adaptar el proyecto para mejorar seguridad y accesibilidad</p> <p>Colaborar con departamentos de políticas públicas</p>
5. Enfoque en Sostenibilidad y Medio Ambiente	Integrar componentes para monitoreo ambiental y prácticas ecoamigables.	<p>Alineación con objetivos de desarrollo sostenible</p> <p>Acceso a fondos para proyectos ambientales</p> <p>Mejora de imagen pública</p>	<p>Incorporación de nuevas variables y funcionalidades</p> <p>Costos adicionales en desarrollo</p> <p>Necesidad de capacitación</p>	<p>Identificar indicadores ambientales</p> <p>Adaptar tecnología para datos ambientales</p> <p>Colaborar con expertos en sostenibilidad</p>

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo K OKRs (Objectives and Key Results) del proyecto

Matriz de OKRs

OKR	Plazo	Responsable	Resultado Clave	Métrica	Tareas
Evaluar y Diagnosticar la Viabilidad de Gemelos Digitales para la Gestión de Activos en Infraestructura Vial de la ANI	3 meses	Líder equipo de desarrollo	Realizar una evaluación del estado actual de dichas tecnologías aplicadas en la gestión de infraestructura vial en la ANI.	Porcentaje de proyectos evaluados con tecnologías de gestión existentes: Meta de 90%.	Identificar las tecnologías existentes y su nivel de integración en los procesos de inspección y seguimiento. Evaluar la infraestructura y recursos tecnológicos necesarios para implementar gemelos digitales.
			Diagnosticar los procesos actuales de inspección y seguimiento de infraestructura vial.	Identificación de áreas de mejora en cada proceso, con un mínimo de 10 oportunidades de mejora.	Analizar los flujos de trabajo y procedimientos de inspección y seguimiento empleados por la ANI. Documentar las áreas de mejora y necesidades específicas que podrían beneficiarse de gemelos digitales
Validar la Propuesta de Implementación de Gemelos Digitales con las Partes Interesada	4 meses	Coordinador de Proyectos	Recabar retroalimentación y aprobación de las partes interesadas clave sobre la propuesta de implementación.	Nivel de aprobación del plan de implementación, con una meta de 80% de aceptación	Organizar sesiones de presentación y discusión con directivos, ingenieros y concesionarios. Documentar sugerencias y ajustes requeridos por las partes interesadas para la aceptación de la propuesta.
			Asegurar la alineación del proyecto con las expectativas y necesidades de cada grupo interesado.	Número de reuniones de alineación realizadas: Meta de 3 sesiones durante el ciclo de proyecto.	Desarrollar un mapa de expectativas y necesidades de cada grupo involucrado Adaptar la propuesta inicial en función de la retroalimentación obtenida.
Definir y Establecer el Plan de Implementación de la Propuesta de Gemelos Digitales	6 meses	Líder del Proyecto	Crear un plan detallado de implementación con fases y recursos necesarios.	Plan de implementación desglosado en al menos 5 fases definidas.	Desglosar el plan en fases, identificando las etapas clave y sus dependencias. Estimar y asignar los recursos y equipos requeridos en cada fase del plan.
			Establecer un cronograma de implementación ágil con metas claras de corto y mediano plazo.	Sistema de monitoreo de progreso implementado y operativo al 100% antes del inicio del proyecto.	Definir los hitos y plazos para cada fase del proyecto. Crear un sistema de monitoreo y control para evaluar el avance del proyecto conforme al cronograma.

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo L Métricas de innovación

Tipo de Métrica	Indicador	Descripción Detallada	Fórmula de calculo	Unidad	Frecuencia	Objetivo
Captura y Procesamiento de Datos	Precisión de la Digitalización	Evalúa la fidelidad del modelo 3D generado en comparación con el activo físico real. Considera múltiples puntos de referencia distribuidos estratégicamente en la estructura, incluyendo elementos críticos como juntas, conexiones y superficies. La medición incluye tanto precisión geométrica como textural.	$(\text{Puntos coincidentes} / \text{Total de puntos de referencia}) \times 100$	%	Por modelo generado	$\geq 95\%$
	Eficiencia de Procesamiento	Mide el tiempo total requerido desde la ingesta de datos (fotos 360° y datos de drones) hasta la generación del modelo 3D completo. Incluye tiempo de preprocesamiento, alineación de imágenes, generación de nube de puntos, creación de malla y texturización.	Tiempo total desde carga hasta modelo final	Horas	Por modelo	< 4 horas
	Cobertura de Captura	Evalúa la completitud de la captura de datos del activo, identificando áreas sin cobertura o con datos insuficientes. Considera zonas de difícil acceso, áreas sombreadas y elementos críticos de la infraestructura.	$(\text{Área capturada} / \text{Área total del activo}) \times 100$	%	Por sesión de captura	$\geq 98\%$
Calidad del Gemelo Digital	Precisión Georreferencial	Mide la exactitud del posicionamiento geográfico del modelo en relación con coordenadas del mundo real. Incluye tanto precisión horizontal como vertical. La medición se realiza comparando con puntos de control geodésicos certificados.	Desviación promedio en metros de puntos de control	Metros	Por modelo	< 0.5m
	Resolución del Modelo	Evalúa la densidad y calidad de la representación 3D, considerando la cantidad de puntos o polígonos por unidad de área. Mayor densidad permite mejor detalle y precisión en la inspección virtual.	Puntos por metro cuadrado	puntos/m ²	Por modelo	> 100 puntos/m ²
	Integridad de Atributos	Verifica la completitud y precisión de todos los metadatos e indicadores asociados al modelo. Incluye información técnica, histórica, de mantenimiento y estado actual.	$(\text{Atributos completados} / \text{Total de atributos requeridos}) \times 100$	%	Por activo	100%
Rendimiento Operativo	Tiempo de Actualización	Mide la eficiencia del proceso de actualización de gemelos digitales existentes. Incluye tiempo de captura de nuevos datos, procesamiento diferencial y sincronización con el modelo anterior.	Horas desde captura hasta actualización completa	Horas	Por actualización	< 2 horas
	Disponibilidad del Sistema	Evalúa la fiabilidad y accesibilidad del sistema de gemelos digitales. Incluye disponibilidad de la plataforma web, móvil y servicios de procesamiento.	$(\text{Tiempo activo} / \text{Tiempo total}) \times 100$	%	Mensual	$\geq 99.9\%$
	Velocidad de Consulta	Mide la rapidez de respuesta del sistema a las solicitudes de usuarios. Incluye tiempo de carga de modelos 3D, recuperación de atributos y generación de informes.	Tiempo promedio de carga de modelos y datos	Segundos	Por consulta	< 3 segundos
Valor de Negocio	ROI en Mantenimiento	Cuantifica el retorno de inversión en términos de costos evitados en mantenimiento gracias al uso de gemelos digitales. Incluye ahorros en inspecciones físicas y detección temprana de problemas.	$((\text{Costos evitados} - \text{Costos de implementación}) / \text{Costos de implementación}) \times 100$	%	Anual	> 200%
	Adopción del Sistema	Mide el nivel de utilización efectiva del sistema por parte de los usuarios objetivo. Incluye diferentes perfiles de usuario (inspectores, ingenieros, gestores).	$(\text{Usuarios activos} / \text{Usuarios objetivo}) \times 100$	%	Mensual	> 80%
	Efectividad en Detección	Evalúa la capacidad del sistema para identificar y diagnosticar problemas en la infraestructura. Incluye detección de deterioro, daños estructurales y condiciones de riesgo.	$(\text{Problemas detectados por el sistema} / \text{Total de problemas confirmados}) \times 100$	%	Trimestral	> 90%

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo M Plan de Gestión del Cambio y Adopción

Audiencia Clave	interna o externa	Responsables	Mensajes Clave	Objetivos de Comunicación	Canales de Comunicación	Cronograma	Métricas de Efectividad
Directivos de la ANI	Interna	Gerente del proyecto	la implementación de un gemelo digital potenciará la eficiencia y la toma de decisiones estratégicas.	- Obtener apoyo y liderazgo	- Reuniones de nivel Estratégico	- Inicio del proyecto	- Nivel de compromiso
				- Alineación con los objetivos estratégicos	- Informes detallados	- Actualizaciones trimestrales	- Aprobación de recursos
Empleados ANI - (involucrados en el proyecto)	Interna	Recursos Humanos y Comunicaciones	la implementación de esta herramienta mejorará los procesos diarios y oportunidades de desarrollo profesional.	- Informar sobre cambios	- Boletines internos	- Durante la implementación	- Participación en capacitaciones
				- Facilitar adopción y capacitación	- Talleres de capacitación		- Encuestas de satisfacción
Departamento de TI	Interna	Líder de TI	La experticia es clave para el éxito técnico del proyecto.	- Coordinar aspectos técnicos	- Reuniones técnicas	- A lo largo del proyecto	- Cumplimiento de hitos técnicos
				- Garantizar soporte continuo	- Documentación compartida		- Resolución de incidencias
Equipo del Proyecto	Interna	Gerente del proyecto /SCRUM Master	La colaboración efectiva conlleva al éxito en la implementación del Gemelo Digital.	- Mantener alineación	- Reuniones semanales	- Semanalmente	- Cumplimiento de plazos
				- Fomentar comunicación efectiva	- Plataformas colaborativas	- Durante la finalización de cada Sprint de desarrollo	- Eficacia en la comunicación interna
Contratistas y Proveedores	Externa	Área comercial	La participación de Contratistas y proveedores es vital para una implementación exitosa del gemelo digital.	- Asegurar comprensión de requerimientos	- Comunicaciones formales (emails, contratos)	- Según hitos del proyecto	- Entregables a tiempo
				- Fomentar colaboración efectiva			- Calidad de las colaboraciones
Agencias Gubernamentales	Externa	Director de la Agencia	El proyecto es un avance en la gestión de infraestructura nacional y	- Informar sobre el proyecto	- Comunicados oficiales	- En fases clave del proyecto	- Acuerdos de colaboración: # de acuerdos

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Audiencia Clave	interna o externa	Responsables	Mensajes Clave	Objetivos de Comunicación	Canales de Comunicación	Cronograma	Métricas de Efectividad
			requiere colaboración interinstitucional.	- Buscar sinergias y apoyo	- Reuniones interinstitucionales		- Participación en reuniones
Ciudadanía	Externa	Departamento de Comunicaciones ANI	La modernización mejorará los servicios y la infraestructura del país para todos los ciudadanos.	- Informar sobre beneficios	- Sitio web de la ANI	- En fase de implementación	- Alcance en redes sociales: Total impresiones en Redes sociales
				- Generar confianza y transparencia	- Redes sociales		- Feedback del público
				- Credibilidad en la políticas públicas	- Comunicados de prensa		- Encuestas de percepción: # de encuestas
Medios de Comunicación	Externa	Departamento de Comunicaciones ANI	La ANI lidera la innovación con la implementación del gemelo digital, para la mejora y eficiencia en los proyectos viales	- Difundir avances	- Ruedas de prensa	- Lanzamiento y actualizaciones relevantes	- Número de publicaciones
				- Gestionar imagen pública	- Notas y medios digitales		- Indicadores de cobertura mediática # de medios de difusión
Sector de Infraestructura	Externa	Gerente del Proyecto	El proyecto de gemelos digitales abre oportunidades para el sector y establece nuevos estándares de eficiencia.	- Fomentar alianzas	- Seminarios	- Durante todo el proyecto	- Participación en eventos: # total de seminarios
				- Compartir conocimiento	- Conferencias		- Número de alianzas formadas: # Total de alianzas estratégicas
				- Ser referentes Tecnológicos	- Publicaciones especializadas		- Cartas de intención de solicitudes de réplicas del proyecto: # de cartas recibidas

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI

Anexo N Plan de capacitaciones y desarrollo de habilidades

Fase	Competencia	Objetivo	Contenido	Metodología	Duración	Rol/Audiencia	Indicadores de Éxito	RESPONSABLE
1. Fundamentos y Contextualización	Conocimiento Base	Comprender el concepto de gemelos digitales y su aplicación en infraestructura	Introducción a gemelos digitales, Casos de uso en infraestructura, Visión general de la aplicación	Sesiones teóricas, Casos de estudio, Demostraciones	8 horas	Directivos, Gerentes de proyecto, Ingenieros, Personal técnico	90% de aprobación en evaluación, Plan de implementación aprobado	Líder del proyecto
2. Captura de Datos	Operación de Equipos	Dominar la captura de datos mediante drones y cámaras 360°	Operación de drones, Uso de cámaras 360°, Planificación de capturas, Protocolos de seguridad	Talleres prácticos, Ejercicios en campo, Simulaciones	24 horas	Operadores de campo, Técnicos especializados	Calidad de captura >95%, Zero incidentes de seguridad	Instructor Técnico Especializado en Drones y Cámaras
3. Uso de la Aplicación - Básico	Operación Básica	Manejar funciones básicas de la aplicación	Interfaz de usuario, Carga de datos, Visualización básica, Navegación 3D	Capacitación hands-on, Ejercicios guiados, Tutoriales	16 horas	Usuarios finales, Personal administrativo	85% de usuarios operando independientemente	Instructor de Software/Capacitador de Sistemas
4. Uso de la Aplicación - Avanzado	Operación Avanzada	Dominar funciones avanzadas y análisis	Análisis de datos, Gestión de atributos, Reportes avanzados, Integración GIS	Workshops, Proyectos prácticos, Mentorías	24 horas	Analistas, Ingenieros, Supervisores	80% de funciones avanzadas utilizadas	Especialista Senior en GIS/Analista de Sistemas Senior
5. Gestión de Activos	Análisis y Decisión	Aplicar la herramienta para gestión de infraestructura	Indicadores de estado, Planificación de mantenimiento, Toma de decisiones, Optimización de recursos	Casos prácticos, Simulación de escenarios, Workshops	16 horas	Gerentes, Tomadores de decisiones	Mejora del 30% en tiempo de decisión	Especialista en Gestión de Activos
6. Administración del Sistema	Gestión Técnica	Administrar y mantener el sistema	Configuración del sistema, Gestión de usuarios, Backups y seguridad, Resolución de problemas	Capacitación técnica, Laboratorios prácticos	24 horas	Administradores del sistema, Personal IT	99% de uptime del sistema	Administrador de Sistemas
7. Formación de Formadores	Transferencia de Conocimiento	Desarrollar capacidades internas de capacitación	Técnicas de enseñanza, Materiales de capacitación, Evaluación de aprendizaje, Mejores prácticas	Train-the-trainer, Microenseñanza, Feedback	16 horas	Formadores internos, Líderes técnicos	5 formadores certificados por área	Instructor Master/Líder de Capacitación
8. Mejora Continua	Optimización	Establecer proceso de mejora continua	Análisis de feedback, Actualizaciones del sistema, Nuevas funcionalidades, Gestión del cambio	Workshops de mejora, Comunidad de práctica, Foros de usuarios	Continuo	Todos los usuarios, Equipo de mejora	20% de mejoras implementadas anualmente	Gerente de Calidad/Líder de Mejora Continua

Propuesta de implementación de prototipo de gemelos digitales para la gestión de proyectos de infraestructura vial en la ANI