

DICIEMBRE DE 2025

TRABAJO FINAL PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAGÍSTER EN PENSAMIENTO ESTRATÉGICO Y PROSPECTIVA
ESCUELA DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN SOCIAL

ESTUDIO PROSPECTIVO SOBRE LA
GESTIÓN DE CONOCIMIENTO EN
RESILIENCIA CLIMÁTICA DEL FUTURO
PARA EL SECTOR OBRAS PÚBLICAS Y
TRANSPORTE DE COSTA RICA AL 2035
INFORME DE INVESTIGACIÓN

VICTORIA ARCE ANCHÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL
HEREDIA, COSTA RICA

Índice General

Índice General	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas	4
Lista de siglas, abreviaturas y acrónimos	5
Tribunal Examinador	7
Dedicatoria	8
Agradecimiento	10
Unidad I	11
1. Resumen	11
2. Introducción	12
Unidad II	13
2.1 Problema de investigación	13
2.2 Objetivos	14
2.3 Alcances y limitaciones	15
2.4 Diseño metodológico	16
2.5 Marco Teórico	26
Gestión del conocimiento	26
Gestión Tecnológica del Conocimiento	29
Aplicación de la Gestión de Conocimiento en una organización	30
Innovación en la Administración Pública	32
Unidad III	36
3.1. Análisis documental	36
Estado del Arte	36
Contextualización nacional	36
El Sector de Obras Públicas y Transporte en Costa Rica: Cambio Climático y Gestión de Riesgos y Desastres	42
Daños y pérdidas en el Sector Obras Públicas y Transportes	44
Adaptación y Mitigación del Sector Obras Públicas y Transportes	46
Conformación del Sector Obras Públicas y Transportes	50
Análisis conceptual de la dinámica del objeto de estudio (sistema)	54
Procesos técnicos-científicos en la infraestructura de transporte del país a lo interno del MOPT	57

Enfoque en gestión de conocimiento en los planes estratégicos institucionales del Sector Obras Públicas y Transportes	61
Capital tecnológico y humano	68
Síntesis en la Gestión de Conocimiento	76
Análisis de mega tendencias y tendencias	83
Cambio climático.....	85
Masificación del conocimiento y convergencia tecnológica.....	89
Tendencias y señales débiles	95
Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva.....	113
Análisis competitivo del Sector y sus aliados estratégicos.....	128
Ámbito nacional de competitividad.....	129
Ámbito internacional de competitividad.....	135
3.2 Análisis de campo.....	141
Factores de cambio y variables estratégicas	141
Sintaxis lógica.....	144
Construcción de escenarios	145
Escenarios	147
Escenario 1. Todo al alcance de todos.....	147
Escenario 2. Pellizcando sueños	150
Escenario 3. Rezagados en el tiempo	154
Escenario 4. Despilfarro en el aire	156
Propuesta de líneas estratégicas.....	159
Conclusiones	163
Recomendaciones	164
Bibliografía.....	166
Anexos	182

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura básica de agregación de valor a los datos	14
Figura 2. Triángulo griego de la prospectiva	16
Figura 3. Modelo avanzado de prospectiva estratégica	17
Figura 4. Diagrama de Forester	19
Figura 5. Esquema en la Sintaxis Lógica	23
Figura 6. Ejes de Peter Shwartz	24
Figura 7. Resumen diseño metodológico	25
Figura 8. La transformación de datos a información y a conocimiento.....	26
Figura 9. Interacción de la Gestión del Conocimiento en las organizaciones	31
Figura 10. Políticas y compromisos ligados a la adaptación climática en Costa Rica 2010-2020	40
Figura 11. Costa Rica: Valor de los daños por tipo de evento y categoría, 1998-2018	44
Figura 12. Costa Rica. Impacto de daños totales per cápita en los sectores Infraestructura	45
Figura 13. Compromisos en políticas públicas relacionadas con el CC	49
Figura 14. Nube de palabras de los artículos resaltados.....	53
Figura 15. Diagrama de Forester de la dinámica de sistemas de esta investigación.....	54
Figura 16. Extracto del Visor de Escenarios Climáticos para Centroamérica	57
Figura 17. Organigrama del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.....	58
Figura 18. Los 15 desafíos globales	84
Figura 19. Evolución de la temperatura global superficial en relación con periodo de observaciones (1951-1980)	86
Figura 20. Emisiones de dióxido de carbono (CO ₂) per cápita relacionadas con la energía, 2030	86
Figura 21. Eventos climáticos extremos y eventos de manifestación lenta	87
Figura 22. Aumento de la temperatura global en superficie desde 1850–1900 (°C) en función de las emisiones acumuladas de CO ₂ (Gt CO ₂)	88
Figura 23. Porcentaje de hogares con conexión fija a internet.....	90
Figura 24. Solicitudes de patentes por región, 2012 y 2022	91
Figura 25. Tecnologías vinculadas con los ODS	93
Figura 26. Proporción de familias de patentes activas relacionadas con los ODS en los ámbitos tecnológicos de la OMPI, 2000-2023	94
Figura 27. Comparación de la clasificación final de los países en los años base y de año pronóstico	97
Figura 28. Representación de la perspectiva holística de la resiliencia.....	101
Figura 29. Soluciones tecnológicas Clean Teach.....	104
Figura 30. La interrelación de diferentes técnicas computacionales inteligentes	107
Figura 31. Modelo conceptual de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva	114
Figura 32. Organismos de las Naciones Unidas	140
Figura 33. Distribución de registro de la Matriz de Banco de Señales	141
Figura 34. Sintaxis Lógica	145
Figura 35. Aplicación de los Ejes de Peter Shwartz en los escenarios de futuro	146

Índice de Tablas

Tabla 1. Matriz FODA.....	19
Tabla 2. Instrumento 1 de recolección de priorización para valoración nivel de incidencia del factor de cambio	22
Tabla 3. Categorías de nivel de incidencia	22
Tabla 4. Criterios para diferenciar información y conocimiento	27
Tabla 5. Comparación descriptiva de modelo de gestión de conocimiento.....	28
Tabla 6. Criterios para diferenciar información y conocimiento	28
Tabla 7. Modelo de Gestión Tecnológica del Conocimiento	29
Tabla 8. Métodos para enseñar innovación en la región latinoamericana	33
Tabla 9. Resultados de Infraestructura Índice Global de Competitividad y Pilar de Infraestructura	37
Tabla 10. Cooperantes de los proyectos del Sector Obras Públicas y Transportes 2011-2026	38
Tabla 11. Legislación relacionada con cambio climático y su vinculación con la obra de infraestructura	39
Tabla 12. Costa Rica: Valor de los daños por sector afectado según clase de evento, Período 1988-2018... 44	44
Tabla 13. Reporte de daños y pérdidas del Sector según CNE 2021-2025.....	45
Tabla 14. Factores de infraestructura determinantes en la vulnerabilidad del país frente al CC y sus impactos potenciales	46
Tabla 15. Impactos potenciales del cambio climático en los servicios de infraestructura	47
Tabla 16. Extracto del FODA- MOPT Plan Estratégico Institucional 2020	61
Tabla 17. Extracto del FODA- COSEVI Plan Estratégico Institucional 2023-2030.....	62
Tabla 18. Extracto del FODA- CTP Plan Estratégico Institucional 2025-2030.....	63
Tabla 19. Extracto del FODA - CNC Plan Estratégico Institucional 2020-2025	63
Tabla 20. Extracto del FODA- CONAVI Plan Estratégico Institucional 2025- 2029.....	64
Tabla 21. Extracto del FODA- INCOFER Plan Estratégico Institucional 2025-2029	66
Tabla 22. Extracto del FODA- JAPDEVA Plan Estratégico Institucional 2023-2027	67
Tabla 23. Instituciones que generan datos para el anuario estadístico	68
Tabla 24. Estadísticas del Sector por medio de transporte.....	69
Tabla 25. Resumen de sistemas disponibles en sitios web de cada entidad	70
Tabla 26. Servicios web brindados por el MOPT (julio del 2019).....	72
Tabla 27. Sitios de formación para las dependencias del Sector.....	75
Tabla 28. Interacción de actores y recursos disponibles	76
Tabla 29. FODA en la situación actual de la Gestión de Conocimiento.....	80
Tabla 30. Escenarios para medir el comportamiento del cambio climático	89
Tabla 31. Resumen de acciones por región en el ámbito de tecnologías de información.....	89
Tabla 32. Solicitudes de patente publicadas en todo el mundo por campo de tecnología, 2011, 2016 y 2021 92	92
Tabla 33. Ficha de vigilancia tecnológica.....	114
Tabla 34. Actores identificados en la Matriz Banco de Señales	129
Tabla 35. Factores de Campo y los actores anotados por los participantes	142
Tabla 36. Resultado de la priorización de factores en el Ábaco de Regnier	143

Lista de siglas, abreviaturas y acrónimos

ACSA	Agencia Centroamericana para la Seguridad Aeronáutica
APP	Asociaciones público-privadas
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
BCCR	Banco Central de Costa Rica
BCIE	Banco Centroamericano de Integración Económica
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BRIC	Brasil, Rusia, India y China
CC	Cambio Climático
CCRI	Coalición para la Inversión Resiliente al Clima
CETAC	Consejo Técnico de Aviación Civil
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CGR	Contraloría General de la República
CIGEFI	Centro de Investigaciones Geofísicas
CIMAT	Comisión Interinstitucional de Marinas y Atracaderos Turísticos
CNC	Consejo Nacional de Concesiones
CNE	Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias
CONAVI	Consejo Nacional de Vialidad
COP	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
COSEVI	Consejo de Seguridad Vial
CTP	Consejo de Transporte Público
DGA	Dirección General de Aduanas
DGAC	Dirección General de Aviación Civil
DGIT	Dirección General de Ingeniería de Tránsito
DGPT	Dirección General de la Policía de Tránsito
FODA	Fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas
GDC	Gestión del conocimiento
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GI	Gestión de información
GNSS	Global Navigation Satellite System
GRD	Gestión de Riesgo en Desastres
GTFS	<i>General Transit Feed Specification</i>
I+D+I	Innovación, investigación, desarrollo e innovación
ICG	Índice Global de Competitividad
INB	Ingreso Nacional Bruto
IEF	Investigación Etnográfica de Futuros
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INCOFER	Instituto Costarricense de Ferrocarriles
INCOP	Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INS	Instituto Nacional de Seguros
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
IRTAD	Grupo Internacional de Datos y Análisis de Seguridad Vial
IdC	Internet de las Cosas
JAPDEVA	Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica
Lanamme	Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MIVAH	Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos
ML	<i>Machine Learning</i>
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transportes
MT	Mega Tendencias
Mideplan	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica
NBIC	Bioteología, tecnologías de la información y la ciencia cognitiva

NDC	Contribución Nacional Determinada
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OISEVI	Observatorio Iberoamericano de Seguridad Vial
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
OPS	Organización Panamericana de la Salud
OVSICORI	Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica
PAMCCSIT	Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático de los Servicios de Infraestructura y Transportes
PEI	Planes Estratégicos Institucionales
PEMIST	Proceso Estratégico Multimodal de Servicios de Transporte
PEN	Programa del Estado de la Nación
PITRA	Programa de Infraestructura del Transporte
PNGR	Política Nacional de Gestión de Riesgos
POI	Plan Operativo Institucional
PRIAS	Programa Regional de Investigación Ambiental y Salud
PROERI	Programa de Emergencia para la Reconstrucción Integral y Resiliente de Infraestructura
PROGAS	Proceso Gestión Ambiental Sostenible
RCP	Trayectorias de Concentración Representativas
RVN	Red Vial Nacional
SAEP	Sistema de Administración de Estructuras de Puentes
SEN	Sistema de Estadística Nacional
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SIGECI	Sistema de Gestión de Proyectos de Cooperación Internacional
SIGVI	Sistema de Gestión Vial Integrado
SINAMECC	Sistema Nacional de Métrica de Cambio Climático
SNIT	Sistema Nacional de Información Territorial
SPS	Secretaría de Planificación Sectorial
SSP	Escenarios socioeconómicos
TIC	Tecnologías de la información y comunicación
TPD	Tránsito promedio diario
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
VT	Vigilancia Tecnológica
WIPO	<i>World Intellectual Property Organization</i>

Hoja de aprobación

Este Trabajo de Investigación aplicada fue aceptado por el Programa de Estudios de Posgrado en Pensamiento Estratégico y Prospectiva de la Escuela de Planificación y Promoción Social, de la Universidad Nacional de Costa Rica; como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría en Pensamiento Estratégico y Prospectiva.

Tribunal Examinador

Mag. Jazmin Pereira Ortega

Presidente

Dr. Juan Carlos Mora Montero

Tutor

MSc. Hazel Fallas Murcia

Asesora Interna

MSc. Melvin Lizado Araya

Asesor Externo

María Victoria Arce Anchía

Sustentante

Dedicatoria

A mi Dios Trino, Padre, Hijo y Espíritu Santo... ¡Jesúuuuuuuuussss Gracias, eres el top top!

A mi Familia... a mi papá en el cielo. Gracias por siempre ser mi apoyo y mi refugio.

A mi comunidad Emaús por sus oraciones y cariño.

A mis amigas por el apoyo y la paciencia.

Gracias por un amor genuino y sincero.

Pensamiento para los creyentes en el poder de influir en el futuro:

“El conocimiento puede transformar el mundo que conocemos a través de la sinergia y la cocreación colectiva, corre el riesgo de no expandirse por el resguardo de los datos; pero se necesita la cooperación interinstitucional para construir el país de y para todos, donde el futuro presente políticas públicas con consciencia en la colectividad del valor público, y en flexibilidades hacia el cómo apoyarnos, para lograr objetivos mancomunales acordes con la quinta revolución industrial, la sostenibilidad y el ser humano como centro.”

Victoria Arce Anchía, 2 de agosto del 2025

Agradecimiento

A mis colegas, la Geografía, ciencia de mi corazón, siempre invita a la cooperación, alianzas que no son tangibles, pero se articulan en el corazón, Cristina Chaves, Paula Pérez Briceño y Dennis Umaña Pérez, gracias.

A mis colegas y amigas prospectivistas Geo, Vale, Mau, “que el Futuro nos sorprenda en lo divino, y no olvidemos construirlo”.

Gracias mamá por ser el motor en este reto, por siempre ser la voz de apoyo en terminar lo que se empieza. A mi hermana por siempre estar y compartir pasiones por el conocimiento. Gracias Lore M.G por el apoyo en esta lucha académica y por tu amistad. Gracias Caro H. por apoyarme.

Al profesor más apasionado del mundo mundial, Juan Carlos gracias por la vocación y el apoyo que le das al país en la construcción de futuros. A mis lectores de tesis profesora Hazel Fallas y Melvin Lizano.

A cada investigador, actor y funcionario entrevistado, gracias por creer en el valor público de compartir conocimiento.

A mis compañeros de trabajo por inspirarme amor a la institución, y por apoyarme profesionalmente.

Unidad I

1. Resumen

El impacto del cambio climático en el territorio costarricense está provocando mayor ocurrencia de eventos hidrometeorológicos con más frecuencia e intensidad, desde inundaciones y deslizamientos en vías públicas, hasta sequías enmarcadas en el Corredor Seco Centroamericano. Los riesgos en la erosión costera en varios puntos del país, y afectaciones por marejadas, oleajes o inundación costera. De igual forma, los posibles cambios en la durabilidad de las estaciones (seca y lluviosa), sumados al fenómeno de la variabilidad climática, suscitan la siguiente pregunta: ¿qué recursos se necesitan en una organización para hacer frente a los efectos del cambio climático?

La aplicación del método prospectivo de la escuela voluntarista brinda el medio científico para explorar el futuro de la gestión de conocimiento en resiliencia climática para el Sector Obras Públicas y Transportes de Costa Rica. Se inicia con el Estado del Arte, la presentación de la organización como objeto de estudio, su ubicación dentro del enfoque de la dinámica del sistema y las condiciones con las que cuenta en la gestión de conocimiento, así como su injerencia en procesos de gestión del riesgo y acción climática.

El segundo componente del Estado del Arte, análisis de las fuerzas motrices que mueven el mundo, considerando en primera instancia las megatendencias: Cambio Climático y la Masificación del Conocimiento y Convergencia Tecnológica, que son fuerzas que afectan actualmente al Sector y lo seguirán haciendo en el futuro. Esta exploración del entorno también considera las tendencias y la vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, que alertan respecto de cómo están trabajando instancias similares al Sector en otras latitudes y sus estrategias en su lucha contra el cambio climático.

El Estado del Arte permite explorar los conocimientos, capacidades y herramientas que se emplean en otras partes del mundo como tecnologías emergentes y que ya son parte del quehacer científico internacional. Sus resultados facilitaron la presentación del panorama mundial a los actores de la organización que participaron en el taller de Factores de Cambio, en el cual se validaron e identificaron las variables estratégicas y las variables de enlace. Estas últimas fueron elegidas en el taller como los conductores de cambio en la construcción de las narrativas de los escenarios posibles.

La aplicación del método de los Ejes de Peter Shwartz de la escuela determinista permitió esquematizar los escenarios de futuro considerando la gestión de datos y soluciones tecnológicas como el par de coordenadas que marcan el rumbo. En este caso, es importante dar el peso correspondiente a las gestiones que se dispongan en la organización para generar y administrar datos, información y conocimiento, y las soluciones tecnológicas que acompañen esta gestión, mediante estrategias innovadoras de integración con otras instituciones, para la construcción del futuro.

Finalmente, se proponen líneas estratégicas como ejes prioritarios de acción para la preparación de futuro del escenario apuesta, es decir, es un planteamiento con el cual la organización puede priorizar y elegir aquellas líneas de trabajo que sean afines a su realidad política, de manera que pueda tomar medidas para conseguir ciertas condiciones que le pueden funcionar para el futuro, considerando la narrativa de futuro de lo que podría pasar, quedando en manos de la organización ejecutar las acciones para un plan de acción.

2. Introducción

La Contraloría General de la República (CGR, 2022) ha señalado el cambio climático como una de las macro tendencias globales que afectan la gestión pública costarricense en cuanto a continuidad y generación de valor público a la sociedad. Así ha alertado al Estado que se requiere de un accionar distinto para la gestión de los recursos públicos.

En este sentido, el cambio climático como macro tendencia del entorno dinámico, requiere de mecanismos de mitigación o adaptación para enfrentarlo. La CGR recomienda la aplicación de elementos como la autorregulación, la anticipación y la agilidad para lograr una adaptación continua del entorno y velar por una gestión pública responsable con los recursos disponibles. Para este caso, justamente el método de la prospectiva estratégica identifica futuros probables y puede plantear un escenario apuesta.

La investigación con prospectiva busca influir en el futuro de la gestión de conocimiento en resiliencia climática para el Sector Obras Públicas y Transportes de Costa Rica y crear el insumo científico para uno de los objetivos del Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático de los Servicios de Infraestructura y Transportes 2022 – 2031. Este objetivo aborda la necesidad de “Generar el conocimiento y la capacidad técnica requerida para una incorporación óptima de la ciencia del clima en los proyectos de infraestructura de obra pública” en la cual se identifica una acción estratégica de vital importancia, la “Creación de un laboratorio de resiliencia climática para la gestión del conocimiento y la promoción de la innovación en cambio climático”.

Esta acción parte de un presente donde no existe un laboratorio de resiliencia climática y para el cual es necesario explorar el futuro, con el propósito de identificar cómo podría ser ese medio de gestión de conocimiento y la ruta que requiere seguir el Sector para conseguir la gestión de conocimiento e innovación necesaria en resiliencia climática para los servicios de infraestructura y transporte del país.

Finalmente, la investigación prospectiva permite visualizar lo que requiere el Sector para lograrlo, a partir de los recursos con los que cuenta a nivel de capital humano, tecnológico y de procesos. Estudia las tendencias tecnológicas que van evolucionando en “el cómo hacer las cosas” de cara a los diferentes futuros posibles que va enfrentar la gestión del conocimiento en resiliencia climática en el Sector Obras Públicas y Transportes, con el objetivo de anticiparse y prepararse ante los cambios que traerá el cambio climático.

Unidad II

2.1 Problema de investigación

El Sector Obras Públicas y Transportes actualmente no cuenta con un sistema de gestión integral donde el conocimiento sea capturado, aprendido, difundido y aplicado de manera cíclica. De forma individual, cada una de las instituciones que lo conforman han gestionado sus datos, información y capacidades, y facilitan la información al usuario interno y externo por medio de sus sitios web.

Aunado a lo anterior cada entidad que lo conforma ha realizado, de manera individual, sistemas para la publicación de datos en sus sitios web oficiales. De cara al usuario, no hay un sistema que brinde todo el catálogo de información en un solo lugar o la posibilidad de articular los datos de manera integral, sino que debe acceder a diferentes páginas web para información de interés o consultar directamente con los encargados según cada entidad.

Tomando en cuenta los compromisos nacionales e internacionales en cambio climático que el país asume, es necesario disponer de un medio para la gestión de la información y que, además, gestione el conocimiento y contribuya a enfrentar la Gestión de Riesgo en Desastres (GRD) y Cambio Climático (CC) de una manera diferente en la obra pública y transportes del Sector, mediante datos sistematizados y automatizados para los usuarios.

Actualmente, el Sector cuenta con el Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático de los Servicios de Infraestructura y Transportes 2022 – 2031, el cual incluye una acción estratégica acerca de la “Creación de un laboratorio de resiliencia climática para la gestión del conocimiento y la promoción de la innovación en cambio climático”. A la fecha, no existe dentro del Sector un laboratorio en dicha temática. Por lo tanto, es necesario brindar una solución de futuro por medio de la prospectiva para responder la pregunta: ¿qué conocimientos, herramientas y capacidades se requerirán a futuro para una incorporación óptima de la ciencia del clima en el Sector Obras Públicas y Transportes de Costa Rica?

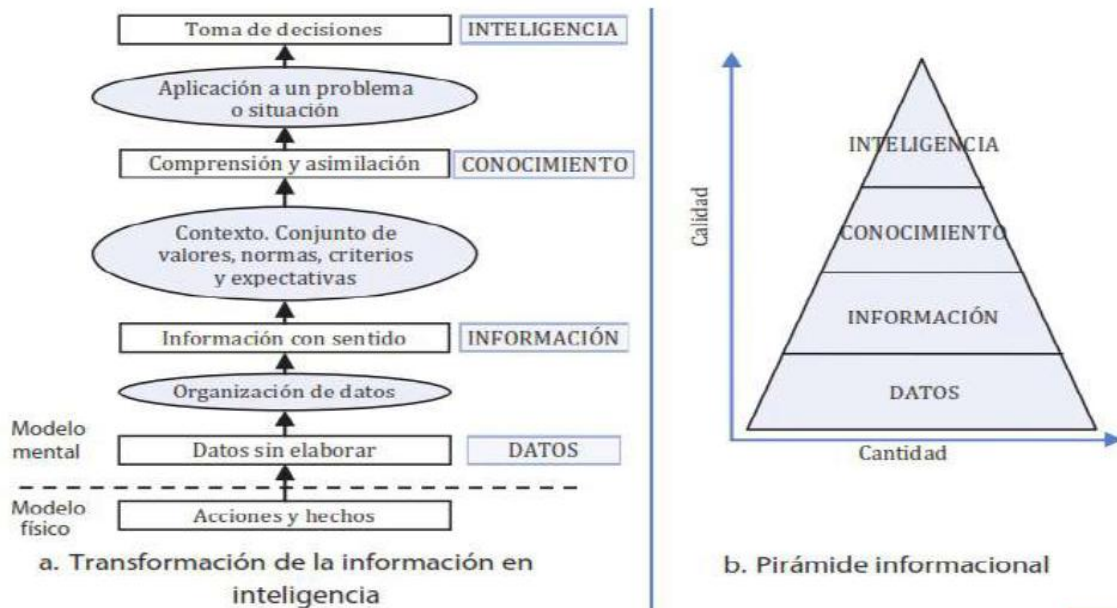
El Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2022) menciona que, por medio del análisis de riesgos en infraestructura, se pueden incluir las innovaciones necesarias para elegir alternativas de inversión más eficientes y sostenibles a largo plazo. Para ese análisis, se requiere de un medio para gestionar la información a escala espacial y temporal de los riesgos a desastres, que asocie la ubicación geográfica de las obras de infraestructura y su vulnerabilidad con la cercanía a posibles amenazas naturales y los efectos del cambio climático sobre estas. Este medio posibilitaría un seguimiento, monitoreo adecuado y oportuno de manera integral a los proyectos de infraestructura.

Por los motivos anteriores, disponer de un modelo de gestión de conocimiento que integre el capital humano, tecnológico y sus procesos respectivos implicaría una transformación en el sector. Supone un salto desde los datos e información hacia la cúspide de conocimiento e inteligencia para la toma de decisiones (Figura 1). Precisamente, cuando se ha conseguido calidad en datos, información y conocimiento, es posible llegar al punto más estratégico.

En la Figura 1 se muestra la relación de la cantidad con calidad de información, para lo cual toma en cuenta datos, información, conocimiento e inteligencia, según el esquema de la estructura básica de agregación de valor a los datos. La figura evidencia que los datos deben pensarse para orientar situaciones o problemas a resolver y dar información con sentido. De ahí la importancia de organizarlos y establecer reglas, rigurosidad y

criterios que permitan disponer del conocimiento generado para generar, a su vez, inteligencia que contribuya a la toma de decisiones.

Figura 1. Estructura básica de agregación de valor a los datos



Fuente: Bermúdez (2022).

Por tanto, ¿cómo podría el Sector Obras Públicas y Transportes alcanzar su meta de contar con un laboratorio de resiliencia climática a futuro? Precisamente, en la investigación prospectiva se puede identificar las rupturas del sistema para saber qué pasará en el futuro y cómo el Sector puede prepararse para influir en él y alcanzar esa meta, con una visión más amplia de la habitual, eso lo facilita la prospectiva.

2.2 Objetivos

Elaborar un estudio prospectivo sobre la gestión de conocimiento en resiliencia climática del futuro para el Sector Obras Públicas y Transportes de Costa Rica con un horizonte al 2035.

1. Elaborar el Estado de Arte en gestión de conocimiento en resiliencia climática para el Sector Obras Públicas y Transportes en Costa Rica.
2. Determinar los factores de cambio y las variables estratégicas requeridas en el diseño de los escenarios posibles para el futuro de la gestión de conocimiento en resiliencia climática al 2035, del Sector Obras Públicas y Transportes en Costa Rica.
3. Identificar las líneas estratégicas para la preparación del escenario apuesta en la gestión de conocimiento en resiliencia climática del futuro, del Sector Obras Públicas y Transportes en Costa Rica.

2.3 Alcances y limitaciones

Se analiza considerando los componentes de Estado de Arte, Análisis de campo y Líneas Estratégicas.

Estado del Arte

Se realizó una encuesta en marzo 2023, sobre la gestión de información y conocimiento en el Sector. El objetivo era conocer la situación actual en el uso de sistemas, generación de datos, preferencias en el almacenamiento digital de la información, si se generaban o no datos geospaciales y por quiénes. Sin embargo, durante este período, se recibió un ciberataque en el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, cuyas afectaciones se extendieron por 6 meses. La encuesta no presentó los resultados cuantitativos esperados, debido a que el reporte de respuestas fue bajo. Por lo tanto, se optó por excluir la información.

No se analizaron los Planes Estratégicos de Tecnologías de Información de las instituciones del sector, aunque hubiesen sido un recurso interesante por tomar en cuenta. En contraposición, sí se consideraron los elementos de los Planes Estratégicos Institucionales para dicho aspecto, con excepción del PEI de la Dirección General de Aviación Civil, que se concibió de manera diferente a los demás y no fue sumado al análisis.

No fue posible incluir, por motivos de tiempo, el análisis de la Estrategia Nacional de Gestión Financiera del Riesgo de Desastres del Ministerio de Hacienda, para lo cual era importante agendar reuniones y comprender la propuesta a largo plazo y su impacto al 2035, así como explorar las repercusiones del estudio de la Superintendencia General de Seguros (SUGESE) del año 2025.

Análisis de campo

Se tuvo la limitante de solo efectuar un taller. No obstante, la asistencia de los participantes permitió lograr el objetivo planteado y analizar los factores de cambio, elegir de variables estratégicas y variables enlace para la construcción de los escenarios según los Ejes de Peter Schwartz. Además, considerando que solo se disponía de un espacio para un único taller, los factores se redujeron a 14, con el fin de aprovechar el tiempo.

En el taller se presentó el resultado de la investigación, y la identificación de factores de cambio que permitió la Matriz del Banco de Señales, siendo robusto en el número de factores; además, durante el taller los participantes coincidieron en puntos de interés reflejados en el listado de factores de cambio, lo cual fortalece y valida la solidez del listado presentado en el taller.

Líneas de estrategia

Debido a las limitaciones para contar con participantes en la realización de un taller de estrategia, en su lugar, para efectos de la investigación, se establecieron líneas estratégicas a modo de propuesta para la organización, tomando como base el escenario de desequilibrio elegido por los participantes en el taller.

Estas líneas estratégicas fortalecen las propuestas y recomendaciones de los expertos entrevistados, así como de los actores de la organización durante el taller efectuado; de esta manera, la construcción de líneas estratégicas cuenta con respaldo técnico al sumar los planteamientos de los actores, bajo criterio del investigador.

Ahora bien, con el producto entregado, queda en juicio de la organización valorar los resultados y tomar las medidas que consideren oportunas, considerando su realidad política. Para este caso, se sugiere la aplicación de la herramienta Backasting, como medio para materializar las acciones del futuro deseado, en un proceso posterior a esta investigación prospectiva.

2.4 Diseño metodológico

Este proyecto de investigación se enmarca en la prospectiva. Gaston Berger, uno de los fundadores de esta disciplina, la definió como “la ciencia que estudia el futuro para comprenderlo y poder influir en él”. Parte de que este no existe, pero es el ser humano quien puede influir sobre él y construir el mejor futuro posible, según las decisiones que tome en momentos oportunos (Mera, 2014).

La prospectiva estratégica, según Michael Godet, es la exploración de futuros posibles contemplando lo que puede hacerse para conseguir uno u otro futuro. Esta considera tres elementos: la reflexión ante la acción, que permite anticipar y preparar acciones con menor riesgo e incertidumbre; la acción estratégica para alcanzar esa propuesta de futuro y la apropiación de un colectivo de actores para materializar la reflexión y ejecutar la acción. Por lo tanto, el autor considera que el futuro no se prevé, sino que se prepara. El futuro depende de lo que se hace hoy y de la estrategia que se adopta para prepararse ante el futuro. Según explica, no hay un único futuro, sino un abanico de futuros posibles (Godet, 1993).

En el método prospectivo de la escuela voluntarista, tal como lo explica Godet, los elementos de anticipación, acción y apropiación conforman el triángulo griego (figura 2). Los actores son un elemento importante para definir el futuro que se desea construir, por ser un factor que genera cambios. Sus componentes se definen así:

- Anticipación: anticiparse para diseñar el futuro.
- Acción: es la estrategia para alcanzar el futuro elegido.
- Apropiación: es la construcción colectiva y convergencia de voluntades de todos los actores involucrados.

También, como apunta Godet (1993), “el futuro no solo está explicado por el pasado, sino también por la imagen del futuro que se imprime del presente”. Esa imagen es distinta según los actores que participan de la construcción de futuro. De ahí la importancia de identificar quiénes serán parte del juego de la estrategia.

Figura 2. Triángulo griego de la prospectiva



Fuente: Godet (1993).

Aplicar prospectiva tiene la ventaja de conocer las tendencias del futuro internas y externas del objeto de estudio, lo que facilita adaptarse y contar con la capacidad de responder ante las variables del entorno (Godet, 1993). Esta habilidad de respuesta se debe al análisis del Estado de Arte y la Vigilancia Tecnológica (VT) propias del método prospectivo, las cuales plantean un diagnóstico exhaustivo de fuentes secundarias que sustentan el objeto de estudio.

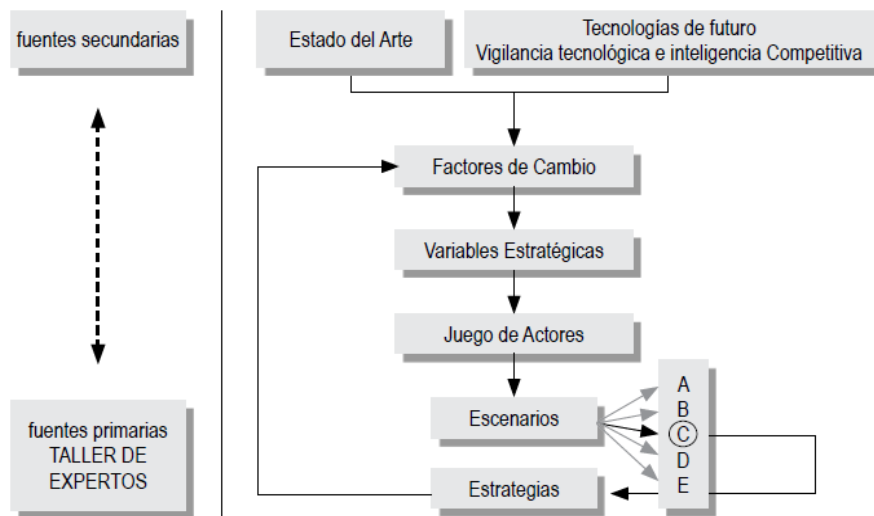
Por consiguiente, la prospectiva brinda el contexto y visión a la VT para identificar tendencias científicas y tecnológicas de acuerdo con las necesidades del objeto de estudio y ambas generan información estratégica para la toma de decisiones. En el caso de la VT, analiza dichas tendencias en el marco de una organización y exploración de fenómenos que están ocurriendo en la actualidad, que pueden ser tanto señales, como hechos portadores de futuro (Bermúdez, 2022).

Para un estudio prospectivo, la VT considera la velocidad de los cambios y el avance del mundo de las ideas, la ciencia y la tecnología, los cuales modifican las prácticas sociales. Aborda de una manera distinta el cómo se recolecta, analiza y procesa la información. Reconoce la importancia de un proceso sistemático que suministre datos pertinentes en el momento oportuno y que anticipe las amenazas y oportunidades originadas por los cambios producidos para la toma de decisiones (Bermúdez, 2022).

Después del análisis de fuentes secundarias para el Estado de Arte y VT, se consultan las fuentes primarias. El futuro se planea con información del pasado y presente y, en este último, se considera a los expertos externos a la organización, así como la experiencia y conocimiento de los actores internos, cuya visión es parte de la dinámica que afectará el objeto de estudio. Por lo tanto, participan en las diferentes etapas, desde la identificación de factores de cambio, la elección de variables estratégicas, el análisis del juego de actores y la elección del escenario apuesta.

Ante la pregunta de futuro: ¿qué conocimientos, herramientas y capacidades se requerirán a futuro para la incorporación óptima de la ciencia del clima en el Sector de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica?, el método de prospectiva estratégica prepara el presente para alcanzar el futuro deseado, considerando el enfoque del Dr. Mojica que comprende las siguientes fases: Estado de Arte, Vigilancia Tecnológica, Factores de Cambio, Variables Estratégicas, Juego de Actores, Escenarios y Estrategia (figura 3).

Figura 3. Modelo avanzado de prospectiva estratégica



Fuente: Mojica (2008).

A) Estado de Arte

El Estado del Arte es el análisis del objeto de estudio, de su pasado y presente, con base factores internos de la organización como la misión, visión, funciones y productos. Se describe la situación actual en el Sector respecto a la afectación que ha tenido por riesgos y desastres, las acciones que se han tomado en esa línea, así como las medidas en adaptación y mitigación en la lucha contra el cambio climático. Se presenta su conformación, los procesos que más se vinculan con la gestión del riesgo y cambio climático, así como la gestión de datos e información producida. Se identifican los recursos con los que cuenta el Sector en el presente, ya sean laboratorios, repositorios, observatorios, el tipo de gestores de información que utiliza para disponer de los datos, documentación, estadística y el tipo de temática que almacena. En este Estado del Arte se analiza el sistema de estudio desde el abordaje del Diagrama de Forrester, como instrumento 1.

Instrumento 1. Diagrama de Forrester para la descripción de la dinámica del sistema

Se procede con la aplicación del Diagrama de Forrester para comprender la dinámica misional del tema de estudio. Este diagrama debe su nombre al profesor Jay W. Forrester, quien creó la técnica en 1950 para estudiar problemas que se daban en algunas empresas. Luego, la aplicó para los sistemas urbanos, donde las variables por analizar eran los habitantes en un área urbana, las viviendas, empresas, entre otras. Posteriormente, el análisis se aplicó en otras instancias y se consolidó como dinámica de sistemas.

Para De Leo et al (2020), la dinámica de sistemas es utilizada como herramienta para construir modelos y explicar situaciones complejas, mediante la observación del todo y la relación con cada una de las partes dentro del sistema. Este último constituye una unidad cuyos elementos interactúan juntos y se afectan entre sí hacia una meta en común. En cuanto al concepto de dinámica, es el carácter cambiante de algo o la fuerza y determinación que lo identifica, en este caso, de un sistema. Así, los elementos que lo conforman pueden sufrir cambios en el tiempo, ocasionados por las interacciones entre ellas.

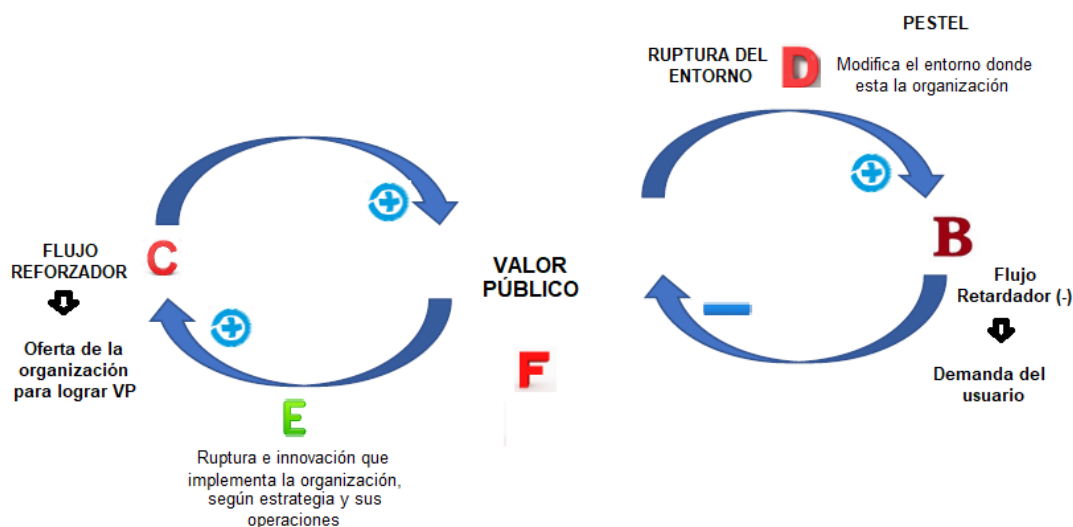
Al construir un modelo de simulación de un sistema, se debe, en primer lugar, estimar qué componentes interactúan para producir el comportamiento que se está investigando. La elección implica la selección de aquellos componentes situados en el interior de los límites del sistema que tengan interés para el estudio concreto que se esté realizando, y excluye todos aquellos componentes potenciales que son irrelevantes al caso y que, por consiguiente, se sitúan fuera de los límites considerados

En este sentido, el pensamiento sistémico considera las partes de un sistema, sus interacciones y, por ende, su mutua influencia. El sistema se forma por diversos elementos que interactúan y afectan otros, y orientan hacia una meta común. Posee una identidad que lo distingue del entorno y logra mantenerla a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes.

En el Diagrama de Forrester (figura 4) esa meta común es el valor público (F), el cual está influenciado por flujos que bien pueden reforzar la meta común (C) o la pueden retardar (B). También, esta meta es afectada por elementos localizados fuera del sistema que se identifican bajo un enfoque exploratorio (D). Según las tendencias o desafíos que pueden empujar o atrasar el flujo retardador y provocar rupturas en el entorno que afecten la dinámica del sistema, estos elementos pueden agruparse en políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales o legales (PESTEL). También, para el flujo reforzador, se deben identificar aquellos elementos que, según el enfoque decisional de la organización, generen una ruptura por medio de estrategias de innovación u operación (E) y que, a su vez, puedan implementar acciones para reforzar el flujo hacia la meta.

Este diagrama permite mostrar los resultados y describir cómo será la evolución a lo largo del tiempo ante los cambios en los flujos y valorar así el juego de elementos y variables en el sistema.

Figura 4. Diagrama de Forester



Fuente: Mora (2022).

Instrumento 2. Identificación de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA)

Para la contextualización en la gestión de conocimiento se realizaron reuniones con las Unidades de Capacitación y las Direcciones Técnicas de la organización para: conocer el quehacer en gestión de conocimiento actual, identificación de los actores con los cuales interactúan en el consumo de datos e información, algunos de los proveedores para capacitaciones, y así varios elementos que facilitaron crear un FODA que visualice los recursos con los que cuenta el Sector, los que puede trabajar para mejorar y aquello que es parte del sistema que lo afecta.

De la interacción en estos espacios se basó la matriz FODA. La Tabla 1 presenta los elementos empleados para construir el FODA en la gestión de conocimiento del sector.

Tabla 1. Matriz FODA

Factores	Fortalezas	Debilidades
Internos del Sector	¿Qué tiene a favor el Sector para gestionar el conocimiento?	¿Qué tiene a en contra el Sector para gestionar el conocimiento?
Externos del Sector	Oportunidades	Amenazas
	¿Qué hay en el entorno al Sector que le favorece para gestionar el conocimiento?	¿Qué hay en el entorno que amenace gestionar el Sector?

B) Tendencias mundiales y vigilancia tecnológica (VT)

Para esta fase, se busca identificar las tendencias mundiales en los ámbitos sociales, políticos, económicos, ambientales, entre otros, relacionados con el objeto de estudio. Se efectúa un rastreo bibliográfico sobre los fenómenos a nivel mundial para los que se debe estar preparado de manera anticipada, dada posible

permanencia en el futuro y a que, eventualmente, podrían impactar la gestión del conocimiento que requiere el Sector de Obras Públicas y Transportes.

Por su parte, se plantea el análisis de Vigilancia Tecnológica (VT) sobre las acciones en otros países respecto a la gestión de conocimiento en resiliencia climática para el Sector Obras Públicas y Transportes. En este proceso se utilizó motores de búsquedas especializadas (Web Of Science y Google academic) con las siguientes ecuaciones de búsqueda:

- Infraestructura de transporte inteligente
- Infraestructura vial resiliente
- Tecnología de servicios climáticos en carretera
- Evaluación de riesgo climático en carretera
- Información climática para gestión de riesgos y desastres en carreteras

Finalmente, para el procesamiento de la información se establece una estructura organizada a fin de visualizar los elementos importantes del resultado de cada búsqueda.

Instrumento 3. Entrevista etnográfica

La entrevista etnográfica de futuros es método cuantitativo para estudios sociales. Según Peralta (2009), la etnografía “es un método de investigación social que permite interactuar con una comunidad determinada, para conocer y registrar datos relacionados con su organización, cultura, costumbres, alimentación, vivienda, vestimenta, creencias religiosas, elementos de transporte, economía, saberes e intereses”.

En el caso de la Investigación Etnográfica de Futuros (IEF) es un método utilizado por investigadores en 1976, bajo un enfoque sociocultural, aplicando una “muestra de entrevistados para conocer sus percepciones y preferencias entre posibles y probables futuros alternativos para su sociedad y cultura” (Bayer, 1976). Este método es una adaptación de la antropología cultural de cara a solventar las necesidades y limitaciones de la investigación de futuros.

Se aplicó la entrevista a investigadores y actores de varios ámbitos, expertos en sus áreas de trabajo: sistemas de información geográfica (SIG) y gestión de datos geoespaciales, gestión de riesgos y desastres, cambio climático, erosión costera, inversiones públicas, innovación en la administración pública. A continuación, se señalan sus perfiles:

1. Unidad de Investigación Geomática, de la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica, especialista en SIG e investigador en dinámica costera, especialmente, en el pacífico del país.
2. Experto en gestión de riesgo y desastres e investigador de la dinámica costera, con conocimientos en geomorfología, SIG y ordenamiento territorial ambiental, de la Escuela de Ciencias Geográficas de la Universidad Nacional.
3. Unidad de Acción Climática del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), especialista en Manejo Integrado de Cuencas e investigador en diferentes temáticas, por ejemplo, en evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo al cambio climático.
4. Departamento de Sostenibilidad y Cambio Climático del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA).
5. Departamento de Desarrollo Estratégico del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE).
6. Departamento de Desarrollo de la Dirección de Meteorología del Instituto Meteorológico Nacional (IMN).
7. Área de Inversiones Públicas del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (Mideplan).
8. Laboratorio Colaborativo de Innovación Pública de la Escuela de Administración Pública de la Universidad de Costa Rica.

Gracias a la participación de los expertos, se exploró el futuro de la gestión de conocimiento en resiliencia climática del sector, considerando el planteamiento de tres preguntas de futuro:

¿Qué cree que es lo mejor que podría pasar en el futuro en la gestión de conocimiento en resiliencia climática del Sector Obras Públicas y Transportes

¿Qué cree que es lo peor que podría pasar en el futuro en la gestión de conocimiento en resiliencia climática del Sector Obras Públicas y Transportes

¿Qué cree que es lo que podría pasar en el futuro en la gestión de conocimiento en resiliencia climática del Sector Obras Públicas y Transportes

También, se entrevistaron los siguientes centros de investigación relacionados con el área de la gestión de conocimiento en infraestructura de transporte, fenómenos atmosféricos y laboratorio en geomática con enfoque científico y enfocado en la transferencia de conocimiento del país:

1. Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA) de Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), Ana Elizondo
2. Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) de la Universidad de Costa Rica, especialista en Ciencias de la Atmósfera, Erick Rivera
3. Laboratorio Prias del Centro Nacional de Alta Tecnología, es un laboratorio de Geomática que lleva a cabo estudios científicos ambientales y cartográficos, con el fin de generar información relevante para los tomadores de decisiones y creadores de políticas públicas nacionales e internacionales.

El resultado de las entrevistas también se incluyó en la Matriz de Banco de Señales, cuyas respuestas se sistematizaron y se consideraron como factores de cambio.

Instrumento 4. Matriz de Banco de señales

Para este estudio se elaboró la herramienta Banco de Señales. Esta considera la revisión documental del entorno del objeto de estudio, y las entrevistas de expertos, donde se sistematiza la información en una matriz para su máximo aprovechamiento, mostrando su utilidad en definir señales y factores de cambio y adicionalmente por el tipo de fuentes consultadas también la identificación de la competitividad del Sector, conociendo sus homólogos de otros países o centros de investigación que abordan la temática de investigación. La Matriz es parte del resultado del primer objetivo de la investigación, por lo cual es importante comprender desde cuáles componentes se alimenta, observando en la figura 7 que la revisión documental y entrevistas alimentan la Matriz, y tiene como fin principal obtener el listado de factores de cambio, del segundo objetivo (figura 7, pág. 25).

La Matriz de Banco de Señales sistematizó la información considerando los siguientes rubros:

- Hecho (dato): responde a la pregunta qué se está hablando.
- Fecha de publicación: importante registrar la fecha o año de publicación
- ¿Cuál es la señal?: indicar brevemente qué sería la señal.
- Categoría de señal: una clasificación por palabras claves que permite agrupar las señales
- Parte interesada: son los actores que se pueden beneficiar de las señales.
- PESTEL: clasificación por aspectos de Políticas, Economía, Tecnología, Ecología y Legal.
- Sitio: se debe indicar la fuente para identificar, quién lo está hablando. Pueden ser entrevistas, artículos científicos, entre otros.
- Grupo de consulta: clasificación para establecer el grupo al que pertenecen los sitios consultados
- Ámbito: permite saber si los sitios consultados son nacionales o internacionales

Además, clasificó la información en seis categorías PESTEL (político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal) y las señales indicadas a su vez se clasificaron en las categorías de factores de cambio.

C) Factores de cambio, actores, variables estratégica y escenarios

Se realizó el taller de factores de cambio, actores, elección de variables estratégicas y escenarios, el 30 de julio del 2025, con la participación de actores del Sector Obras Públicas y Transportes. Se expuso a los asistentes los puntos críticos generados en el Estado del Arte, Análisis de Tendencias, Vigilancia Tecnológica y actores estratégicos en el ámbito competitivo.

Actividad 1. Factores de Cambio (FC)

Con base a la Matriz del Banco de Señales, se identificaron 14 factores de cambio que se presentaron en el taller con sus respectivas definiciones. El objetivo consistía en que los participantes priorizaran los factores según nivel de incidencia en el futuro de la gestión de conocimiento en resiliencia climática para el Sector. La priorización consideró la pregunta: ¿cuáles son los factores de cambio que incidirán en el futuro de la gestión de conocimiento en resiliencia climática para el Sector de Obras Públicas y Transportes?

Herramienta Ábaco de Regnier: se eligió esta herramienta para orientar el consenso del grupo de actores. El instrumento permitió priorizar, argumentar la respuesta y apuntar los actores vinculados con cada FC.

Tabla 2. Instrumento 1 de recolección de priorización para valoración nivel de incidencia del factor de cambio

Factores de cambio (FC)	Nivel de incidencia						Argumente su respuesta	Anote los actores que considera clave para este FC
	Muy alto	Alto	Moderado	Bajo	Muy Bajo	Sin respuesta		

Mora (2022).

Una vez completado del instrumento 1, se incluyeron las respuestas en el Ábaco de Regnier, tal como sigue:

Tabla 3. Categorías de nivel de incidencia

Muy alto	5
Alto	4
Moderado	3
Bajo	2
Muy Bajo	1
Sin Respuesta	0

Fuente: Mora (2022)

Resultado 1: Análisis de los factores de cambio.

Resultado 2: Priorización ejecutada en el Ábaco de Regnier, que determinó las 5 variables estratégicas.

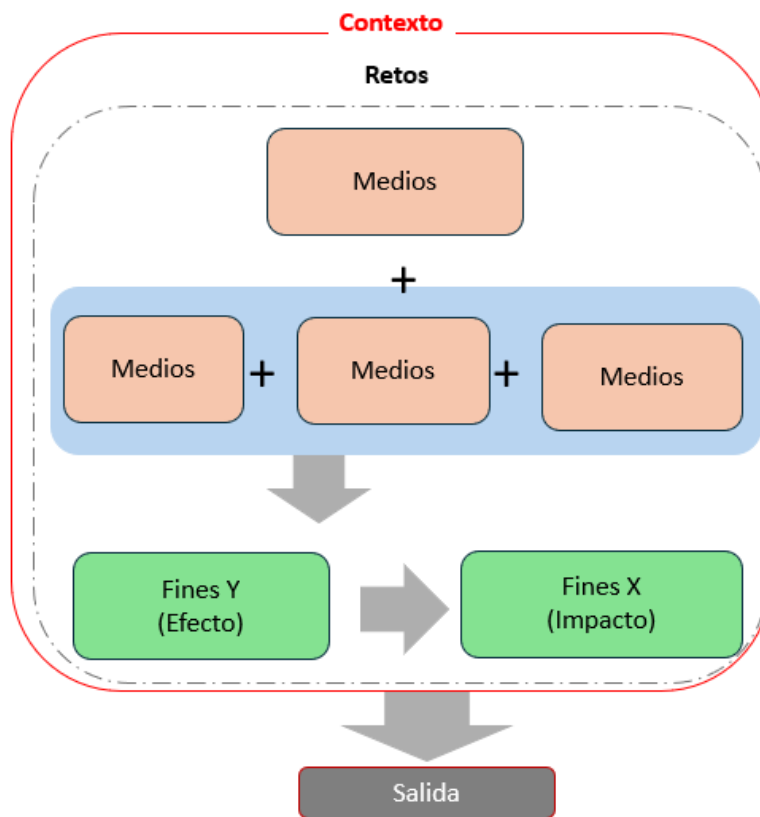
Resultado 3: Identificación de actores involucrados, para cada factor de cambio, sumada al resultado de inteligencia competitiva de aliados estratégicos.

Actividad 2: Sintaxis Lógica

Según la Caja de Herramientas de Godet, de la fase anterior, los participantes analizan las 5 variables que deben considerarse en el contexto, los retos y las acciones inmediatas. También, determinan los fines y las salidas del sistema (Figura 6). El proceso prospectivo permite construir este análisis en conjunto, a partir de una reflexión colectiva. Este brinda la posibilidad de construir un sistema que relaciona todos los factores de cambio priorizados, incluyendo aquellos que quedaron fuera de las 5 variables (Mojica, 2022).

Instrumento 2. Esquema para la Sintaxis Lógica: se moderó la actividad para que los actores determinarán los medios que necesita el sistema, los fines para alcanzar la meta, conciliar puntos y justificar por qué son importantes para el futuro de la gestión de conocimiento. Estas ideas se plasman esquemáticamente en la Sintaxis Lógica de la figura 5.

Figura 5. Esquema en la Sintaxis Lógica



Mora (2022).

Resultado 4: Elección de las dos variables enlace para los escenarios de futuro.

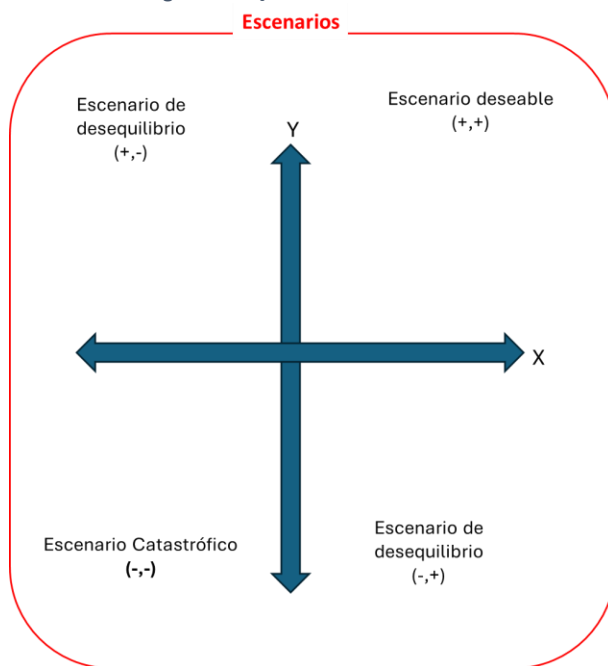
Actividad 3. Definición de escenarios de futuro

En la definición de escenarios se retoma el análisis reflexivo de la sintaxis lógica y la elección de las dos variables enlace para la definición de escenarios, complementando con la aplicación de los Ejes de Peter Schwartz de la escuela determinista.

Según Mera (2014), la elección del escenario apuesta deriva del diseño y la reflexión sobre cada uno de los escenarios. La construcción de las hipótesis plausibles de futuro refleja el comportamiento tentativo de una variable estratégica, la cual se ve afectada por elementos disruptores e innovadores (señales débiles y fuertes) y es movida por los actores sociales y sus decisiones.

Instrumento 3. Ejes de Peter Schwartz: durante el taller con los actores, se reflexiona sobre los Ejes de Peter Schwartz (figura 6). Se busca localizar el rumbo del escenario apuesta y valorar qué podría pasar en el futuro de la gestión de conocimiento en resiliencia climática, considerando los supuestos que brindan las hipótesis por cada cuadrante.

Figura 6. Ejes de Peter Schwartz



Mora (2022).

Cada eje del plano se convierte en un direccionador, lo que permite obtener una visión panorámica de las alternativas de futuro que dan los cuatro escenarios. Para cada cuadrante se realiza un relato, lo que genera como resultado un total de 4 escenarios posibles, según sus respectivos direccionadores. Finalmente, a cada escenario se asigna un nombre para identificarlo.

Cuadrantes:

Cuadrante 1: escenario optimista (+,+) alta incidencia, alto control.

Cuadrante 2: escenario de desequilibrio (+,-) alta incidencia, bajo control.

Cuadrante 3: escenario catastrófico (-,-) baja incidencia, bajo control.

Cuadrante 4: escenario de desequilibrio (-,+) baja incidencia, alto control.

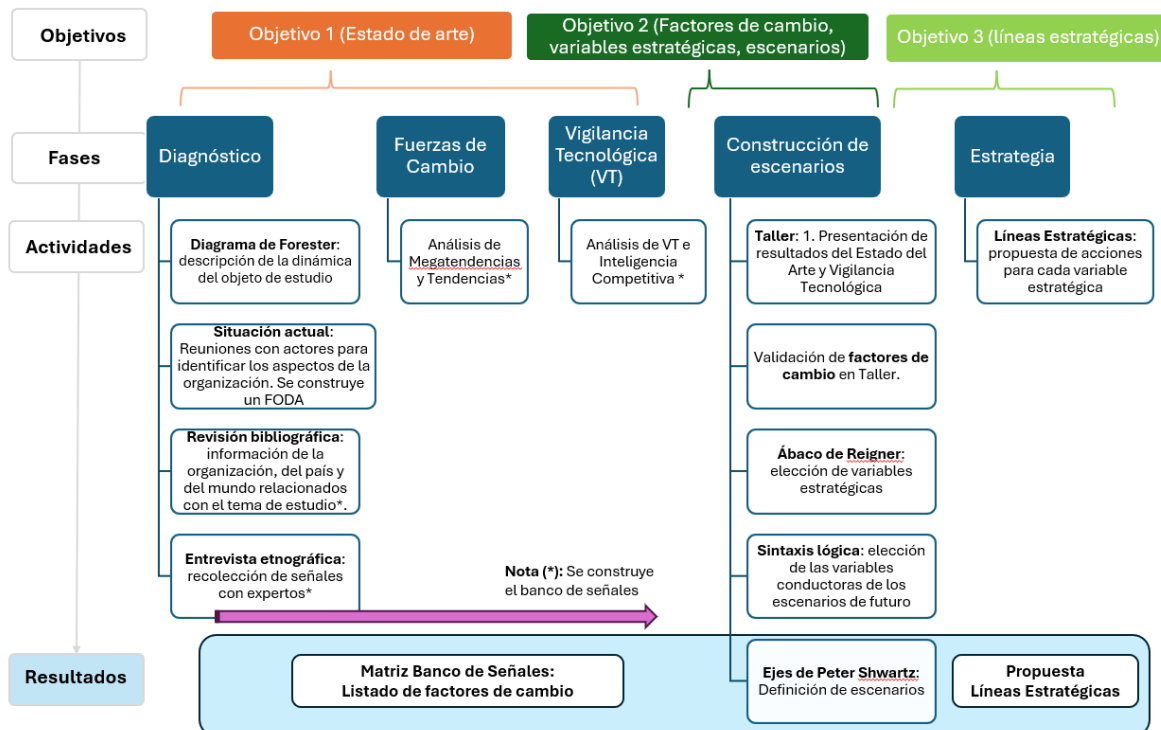
Resultado 4: Construcción de los escenarios posibles

D) Líneas estratégicas

En la definición de la Sintaxis Lógica se definieron los medios, los fines y los retos que están en control del Sector y requieren una estrategia para hacerlos parte del escenario de futuro. Por esta razón, estos elementos pasan a formar líneas estratégicas que pueden ser consideradas por la organización para ejecutar el escenario elegido. El Sector actualmente está en la construcción del Plan Estratégico Sectorial 2026- 2031, razón por la cual la estrategia de este escenario no se construyó para el periodo de esta investigación. En este planteamiento, se procederá a señalar líneas estratégicas como propuesta para las autoridades.

A modo resumen del diseño metodológico, se presenta el siguiente esquema para visualizar los 3 objetivos de la investigación, cada uno desarrollado a partir de sus fases y a su vez del cumplimiento de actividades que permiten llegar a los resultados respectivos, tomando en cuenta que las actividades en sí mismas son resultados de la aplicación de herramientas o el abordaje investigativo de análisis según corresponda. De igual manera, en la línea de resultados se debe entender que, por medio de la Matriz del Banco de Señales, se puede llegar al objetivo 2 y que producto de la definición de escenarios se pueden plantear las líneas estratégicas, siendo el método de la prospectiva estratégica un proceso que requiere de etapas y un orden para llegar a un resultado.

Figura 7. Resumen diseño metodológico



2.5 Marco Teórico

Gestión del conocimiento

La gestión del conocimiento (GDC) permite optimizar el empleo de este recurso, a través de condiciones que generen mejores formas para su construcción y circulación. Por ende, la “gestión” contempla todas las circunstancias y entornos que posibilitan tanto la creación, como la transmisión de conocimiento (Canals, 2003). La acción de gestionar implica actividades y métodos que buscan identificar, organizar, transformar y conectar el conocimiento de una organización (Hernández, 2020).

Asimismo, es necesario señalar la distinción entre los conceptos dato, información y conocimiento. Paniagua (2007) (Figura 8) lo simplifica de la siguiente manera: el dato es un valor discreto que describe un hecho del mundo, el cual no está estructurado, no se explica o se interpreta por sí mismo (por ejemplo, el valor 37); la información sí tiene interpretación y propósito (ya que intervienen el emisor y el receptor en el mensaje) y está dada en un contexto (por ejemplo, el valor 37 puede ser la temperatura de un paciente); el conocimiento es mucho más amplio, es aquella información (adquirida, seleccionada, evaluada, interiorizada, etc.) que permite ejecutar acciones para alcanzar objetivos.

Figura 8. La transformación de datos a información y a conocimiento



Fuente: Paniagua (2007).

De acuerdo con la figura anterior, el conocimiento implica ir más allá de la generación de datos y gestionar la información para disponer de ella en diferentes análisis. Los datos deben pensarse para orientar situaciones o problemas por resolver y dar información con sentido. De ahí la importancia de organizarlos y establecer reglas, rigurosidad y criterios que permitan disponer del conocimiento generado y que, a su vez, contribuyan a la toma de decisiones, como parte de la inteligencia que genera el valor agregado de los datos.

En este sentido, es importante aclarar la diferencia entre gestión de información (GI) y gestión de conocimiento. Fernández (2006) señala que la información constituye la materia prima para generar conocimiento y el conocimiento supone aplicación práctica, esto es, saber emplear lo que se conoce o sabe. A su vez resaltó una serie de características que permiten clarificarlo, esquematizadas en la tabla 4.

Tabla 4. Criterios para diferenciar información y conocimiento

Criterio	Información	Conocimiento
Formal	Adopta una forma física. Es tangible, como documentos, en diversos formatos, y se puede almacenar y comercializar.	Es cognitivo; reside en el individuo, es información aprehendida y sintetizada por y en las personas en función de un contexto determinado.
Contenido	Acumulación de datos, con una lógica y estructura, según la óptica de los individuos.	Es información organizada que se integra en un sistema pre-existente. Implica la interpretación de la información según las necesidades y experiencias.
Significado	Es factual estructurada sin una utilidad particular. Se identifica con hechos, figuras, eventos que provienen de fuentes externas a la organización.	Es información con valor añadido, por medio de los aportes de los individuos; implica una visión crítica, particular y sintetizada de la información que proviene de diversas fuentes, de la transformación, e interpretación de la información en un contexto.
Uso	Brinda datos percibidos como relevantes a través de fuentes autorizadas.	Orienta al logro de objetivos utilizando, percibiendo y comprendiendo la información.

Fuente: Fernández (2006).

Tanto la información como el conocimiento son procesos que se desarrollan simultáneamente y cuyo propósito es recolectar, transferir, asegurar y administrar el conocimiento en la organización, y que sea accesible para usuarios internos y externos de la organización (Lebrato, 2015).

El conocimiento es un recurso que ha existido siempre en la sociedad. Constituye la facultad del ser humano para “comprender, por medio de la razón, la naturaleza, cualidades y relaciones de las cosas (...) producto de distintos tipos de experiencia, razonamiento y aprendizaje” (González, 2022). Desde hace dos décadas, ciertos factores han impulsado la gestión del conocimiento, según señaló Canals (2003): por un lado a) la economía del conocimiento o economía de la información, donde el conocimiento y la información adquirieron relevancia como recurso y como producto, de ahí que se consideró el conocimiento del recurso humano como parte del capital de la organización; b) globalización, que ha permitido replicar la forma de hacer las cosas de un país a otro sin distinción de edad, idioma o cultura y las c) nuevas tecnologías que han contribuido con herramientas y metodologías para gestionar el conocimiento y lograr procesos que automaticen o estructuren la información.

Lebrato (2015) apunta, precisamente, a la sociedad del conocimiento, en la que la ciencia y la tecnología brindan a los individuos distintas maneras de acceder a la información y al conocimiento. En este contexto, se crean claras brechas entre la información consultada y la que circula por los diferentes canales, y en la accesibilidad en términos de si se cuenta o no con los recursos para consumirla.

González (2022) enfatiza en la gestión de conocimiento citando a Spencer (1996) quien define esta como “un conjunto de procesos y sistemas que permiten que el capital intelectual de una organización aumente de forma significativa, mediante la gestión de sus capacidades, de resolución de problemas en forma eficiente”. Comparte lo indicado por Peter Senge (1992) sobre las organizaciones inteligentes, las cuales son capaces de fijarse objetivos y metas que implican a toda la organización en el logro de “crear conocimiento y de usarlo para atender sus necesidades y las de su entorno, impulsando el desarrollo”.

Si bien existen diversos modelos de GDC, Nonaka y Takeuchi enfatizan que crear conocimiento trasciende la creación de información: implica procesarla, hacerla útil para la organización, fusionarla con ideas subjetivas e intuiciones de los individuos y hacerla disponible para todas las personas en la organización. Su modelo no destaca el uso de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) como determinantes en la GDC, sino que se enfoca más en los procesos humanos (Avendaño y Flores 2016).

El modelo Paniagua y López brinda importancia a elementos asociados con procesos humanos. Introduce el componente creativo y humano del modelo Nonaka y Takeuchi para aplicarlo en las organizaciones (tabla 5). Además, brinda una serie de dimensiones que mantienen una relación integral permanente y retoma conceptos de la espiral de conocimiento y recomendaciones de la Bibliografía de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en cuanto al liderazgo como un elemento que debe estar en la cultura organizacional.

Tabla 5. Comparación descriptiva de modelo de gestión de conocimiento

Modelo	Motor de la GC	Uso de la TIC	Contexto	Actores	Tipo de conocimiento	Cultura organizacional
Nonaka y Takeuchi (1995)	Procesos humanos	Es un medio, sin inclusión indispensable	Empresarial	Individuos y equipos de trabajo	Tácito y explícito	Abierta al aprendizaje colaborativo
Paniagua y López (2007)	TIC y procesos humanos	Apoyo de las TIC (entornos colaborativos o de acceso y transferencia del conocimiento)	Empresarial	Miembros de la organización, expertos; líder de la organización	Tácito y explícito	Abierta al aprendizaje colaborativo

Fuente: Avendaño y Flores (2016).

En ambos modelos, la GDC se conforma por las etapas de creación, estructuración, transformación, transferencia, almacenamiento e incorporación. Nonaka y Takeuchi definen cada fase de la siguiente manera:

Tabla 6. Criterios para diferenciar información y conocimiento

Proceso	Actividades de transformación de conocimiento
Creación	Establece mecanismos para la recepción del conocimiento de persona a persona y la organización crea las condiciones para que esta ocurra.
Estructuración	Clasifica y define el conocimiento como justificado, verdadero y creíble y los nuevos conocimientos se incorporan para compartirse.
Transformación	Convierte el conocimiento estructurado en tangible o concreto, ya sea en un prototipo, producto, sistema o modelo.
Transferencia	Distribuye el conocimiento creado en grupos de interés internos o externos de la organización.
Almacenamiento	El conocimiento transferido debe estar disponible para ser utilizado, por ende debe incorporarse en un medio físico perteneciente a la organización.
Incorporación	Adquirir el conocimiento como parte activa de la organización, en tanto activo apreciable y estratégico dentro de esta.

Fuente: Avendaño y Flores (2016).

Por otra parte, se debe destacar a la gestión del conocimiento como un hito importante para generar valor, considerando su articulación con la transformación digital y sistemas de gestión (López, 2020). En este caso, Peter Heisig agrupó en tres escuelas de pensamiento sobre la gestión del conocimiento: la tecno-gráfica, donde la gestión del conocimiento es un objeto que puede ser cuantificado, preservado y transferido por la tecnología; la del comportamiento, según la cual el conocimiento es un concepto humano, localizado en el cerebro y compartido por interacción y socialización; por último, la económica, que señala el conocimiento como el capital que mejora el rendimiento, la innovación y la ventaja competitiva (López, 2020).

Gestión Tecnológica del Conocimiento

La GDC está vinculada con la gestión de las tecnologías, precisamente porque uno de los objetivos de la GC es la accesibilidad del conocimiento, para lo cual se requieren de medios adecuados, como herramientas tecnológicas y lo proveniente de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) (Fernández, 2006).

Asimismo, Hernández (2020) señala que la gestión del conocimiento y la gestión tecnológica son dos procesos que se alinean dentro de una organización para hacer que esta evolucione. Las organizaciones deben entender que la gestión del conocimiento y la gestión tecnológica dependen en gran medida de su capital humano, ya que son estos los actores principales en la transmisión y creación de la información y el conocimiento. En ese sentido, el conocimiento no puede atesorarse como único, sino que debe transmitirse para agilizar y mejorar los procesos que llevan a la consecución de objetivos comunes.

Por su parte, según apunta Paniagua (2007), las TIC cumplen un rol facilitador, son una herramienta, no el contenido. Considera que la Gestión Tecnológica del Conocimiento es “la visión, la misión, los modelos de negocio, y la estrategia, que resuelven de forma global la gestión de la información (y del conocimiento) en la organización; y por Ingeniería del Conocimiento, los conocimientos fundamentales y metodológicos relacionados con las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) que permiten utilizar e integrar los sistemas y soluciones tecnológicas que responden a tales requerimientos”.

Paniagua (2007), cita a Pávez para ampliar, “la Gestión del Conocimiento establece la dirección a seguir, mientras que la Gestión Tecnológica del Conocimiento (mediante la Ingeniería del Conocimiento) desarrolla las formas que ha de cumplir dicha dirección”. Además, añade “la Gestión del Conocimiento, que finalmente se implementa en una ‘Gestión Tecnológica’, debe disponer de una metodología congruente con la estrategia competitiva (la dirección) y permitir el manejo apropiado de los recursos tecnológicos (la táctica) para gestionar el conocimiento (las capacidades) de una organización determinada (la configuración)”.

El modelo de GC, considerando el ámbito de la TIC de Paniagua, tiene similitudes con el modelo de Nonaka y Takeuchi. El factor de la TIC es la diferencia sustancial. El modelo de Paniagua y López se conforma por tres dimensiones: a) recursos de conocimiento, donde destaca la cultura de la organización; b) actividades de transformación de conocimiento, que perfilan los componentes de socialización, exteriorización y combinación; y c) factores de influencia en la GC, cuyos componentes son los agentes, la gestión y el entorno. Estas dimensiones conforman el Modelo de Gestión Tecnológica del Conocimiento (tabla 7).

Tabla 7. Modelo de Gestión Tecnológica del Conocimiento

Dimensiones	Componentes	Elementos
Recursos de conocimiento	Conocimiento de los agentes	<ul style="list-style-type: none"> • Personas y núcleo, experiencia • Sistemas físicos, información
	Cultura de la organización	Principios, normas y reglas
	Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel funcional • Nivel operativo
	Artefactos	<ul style="list-style-type: none"> • Productos • Servicios
	Estrategia	<ul style="list-style-type: none"> • Misión y visión • Posicionamiento estratégico • Estrategia competitiva • Factores clave de la estrategia competitiva
	Recursos externos	Componente (compartido, adquirido)
Actividades de transformación	Socialización del conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Compartición de experiencias • Identificación de expertos

del conocimiento	Exteriorización del conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación y categorización • Evaluación • Selección • Formalización
	Combinación del conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Fusión • Ampliación
Factores de influencia en la gestión del conocimiento	Influencia de los agentes	<ul style="list-style-type: none"> • Motivación • Inestabilidad • Inercia • Aptitudes
	Influencia de la gestión	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanismo de coordinación • Nivel de agrupación • Tipo de centralización • Nivel de liderazgo • Núcleo o elemento clave
	Influencia del entorno	Agentes externos (clientes, proveedores, competidores, agentes sociales)

Fuente: Avendaño y Flores (2016).

Aplicación de la Gestión de Conocimiento en una organización

La gestión de conocimiento va más allá de almacenar la información, busca el uso y la utilidad de los contenidos, de la información, lo cual se logra en la medida que se comparta el conocimiento a otras personas y organizaciones. Esta gestión trata de añadirle valor a la información para una toma de decisiones basada en datos, experiencia, criterio y conocimiento.

Los proyectos de GDC pueden tener éxito, siempre que la organización realice una lectura del contexto, de las necesidades y los cambios de futuro que pueden afectar o impulsar su organización. Este monitoreo se vincula con lo postulado por Canals, en cuanto a saber observar, interpretar y comprender el funcionamiento de las organizaciones.

Del mismo modo, la GDC debe abordarse bajo un enfoque holístico, así planteado en la Bibliografía de la Biblioteca de CEPAL cuando indica que “Gestionar el conocimiento desde un enfoque holístico tiene que ver con gestionarlo de manera integral y cíclica. De manera integral porque considera al individuo, su experiencia, las tecnologías y los procesos como un todo, y de manera cíclica porque implica una serie de actividades continuas para que el conocimiento se capture, se aprenda, se difunda y sobre todo se aplique y así generar más conocimiento que genere cambios, innovación y mejoras”.

Bajo este enfoque integral, los impactos deseados poseen un mayor alcance, pues es necesario identificar áreas de aprendizaje, generar cambios en el desarrollo organizacional y hacer uso de recursos humanos y de tecnologías de la información, considerando tanto las personas, los procesos, la tecnología disponible y requerida, así como el liderazgo y la cultura organizacional.

Bien lo planteo Hernández (2020), “el conocimiento involucra la capacidad que tiene el ser humano de identificar, estructurar, relacionar y comparar información para así crear o compilar resultados, convirtiendo esto en que los seres humanos son aquellos que crean el conocimiento, donde cada uno le otorga el valor, la experiencia y hasta las emociones, algo que hasta el momento no puede generarse por algo tecnológico”.

Como parte de lo recomendado en la Bibliografía de la Biblioteca de CEPAL, se indica que, para una gestión del conocimiento exitosa, se debe combinar de manera conjunta tres elementos (Figura 9):

1. Infraestructura tecnológica confiable que permita compartir el conocimiento explícito.
2. Conectar a las personas que saben con las que requieren ese conocimiento, lo cual promueve comportamientos y prácticas de “socialización” poder preguntar, escuchar y compartir.
3. Procesos que simplifiquen, compartan, validen y destilen el conocimiento.

Figura 9. Interacción de la Gestión del Conocimiento en las organizaciones



Fuente: Cantero Mónica (2019).

En este punto es importante definir los dos tipos de conocimiento. Para Nonaka y Takeuchi, este se clasifica en tácito y explícito. El primero es no codificable, cargado de subjetividades, valores e intuiciones, adquiridos por la experiencia de vida y no por medios formales, es un conocimiento personal; el segundo es el escrito en manuales, libros, almacenado en cualquier tipo de información y es adquirido por estudios formales (Avenidaño y Flores 2016).

Por consiguiente, para que el conocimiento pase de lo individual a colectivo, es decir, a la organización y a las personas que lo requieren, es importante valorar la espiral del conocimiento señala por Nonaka y Takeuchi, en la cual la organización debe apoyarse para sacar el máximo provecho de ambos tipos de saberes. Esta espiral consta de cuatro procesos:

- Socialización: convertir conocimientos tácitos a tácitos, mediante el compartir experiencias, a través de observaciones, imitaciones y entrenamiento in situ.
- Externalización: convertir conocimiento tácito en explícito, lo cual permite crea nuevos conceptos explícitos desde conocimiento tácito.
- Internalización: convertir conocimiento explícito a tácito, relacionado con el aprendizaje y facilitado por documentos y manuales.
- Combinación: convertir conocimiento explícito a explícito, es el resultado de la educación formal.

Precisamente, si se considera lo indicado por Paniagua (2007) “lo que hace que una organización sea competitiva es su conjunto de recursos intangibles, es decir, las capacidades y habilidades de sus recursos (humanos o artificiales), y el conocimiento que éstas manejan para desarrollarse de forma óptima”. Por lo tanto, es crucial que el conocimiento fluya espontáneamente a lo interno de cada organización. Hernández (2020) propone las siguientes fases para la GC:

- Identificar el conocimiento que se encuentra vigente en la organización.
- Establecer qué tipo de conocimiento se tiene para desarrollar o mejorar la organización.
- Revisar si el conocimiento se va a producir dentro de la organización o si se va a obtener de un proceso externo.

- Brindar disponibilidad y accesibilidad del conocimiento generado, para el capital humano que trabaja en la organización.
- Establecer un ciclo de promoción del conocimiento, donde se muestre la meta de esa GC y vincularlo con acciones al departamento de mercadeo en la búsqueda constante de usuarios reales o potenciales del conocimiento generado. El ciclo debe ser evaluado para subsanar fallas y realizar mejoras.
- Establecer un planteamiento de objetivos para obtener compromisos gerenciales, que involucre el capital humano de toda la organización y donde estén definidas las funciones de cada uno frente a la gestión del conocimiento.
- Implementar un proyecto piloto que permita desarrollar las estrategias en la GC.

En complemento a lo anterior, la Bibliografía de la CEPAL antes mencionada, resalta las siguientes recomendaciones para ser tomadas en cuenta:

- **Condiciones adecuadas:** entre la infraestructura común y confiable y una organización dispuesta.
- **Medios:** el modelo común para gestionar el conocimiento, herramientas y procesos.
- **Acciones:** el recurso humano debe tener claro cómo buscar, compartir y aplicar el conocimiento.
- **Liderazgo:** la cultura en la organización debe ser de aprender, compartir y utilizar la información.

Tanto la gestión de conocimiento como la innovación se vinculan para alcanzar el objeto de este estudio. González (2022) indica, en el caso del primero, que se ocupa de lo que ya se sabe, mientras el segundo de lo se desconoce todavía y está por descubrirse. Además, señala que “la innovación solo tiene lugar cuando se gestiona el conocimiento que se tiene y se aprenden cosas nuevas”.

El Sector de Obras Públicas y Transportes enfrenta el reto de gestionar su conocimiento de modo que le permita cumplir con los compromisos nacionales e internacionales, desde un enfoque más eficiente y en el marco de la resiliencia climática, como tendencia que demanda enfrentar cambios continuamente. Así, la innovación debe incorporarse para atender la volatilidad del cambio climático oportunamente.

Innovación en la Administración Pública

La tercera escuela del pensamiento en la gestión de conocimiento – la económica – capitaliza el conocimiento en aras de conseguir rendimiento, innovación y competitividad. La economía del conocimiento oferta productos y servicios con innovación, para su transferencia y bajo la modalidad de empresas y organizaciones en la economía del conocimiento. López (2020) señala retos socio-productivos en “definir, sostener y adelantar una estrategia de generación de valor, diseñar o co-diseñar e implantar procesos, asignar óptimamente y responsablemente las tareas, cada vez más cognitivas y diferenciales, ofertar un portafolio de productos y servicios acorde a las necesidades de conocimiento y servicios, realizar la mejor gestión y control de la organización, implantar las más adecuadas y pertinentes herramientas de apoyo a la innovación y al acceso, uso y apropiación de tecnologías tradicionales y disruptivas”.

En este caso, debe existir una alineación estratégica entre la gestión del conocimiento para la innovación junto con la estrategia organizacional. Por ende, es necesario contar con un marco para la innovación y gestionar el conocimiento organizacional (López, 2020). Además, la innovación debe impactar directamente en la gestión organizacional de una empresa. Por ejemplo, la London Business School creó en 2005 el Management Innovation Lab para reconstruir, sobre nuevas bases, las relaciones sociales en una empresa (Fallas, 2021).

La innovación puede definirse en función del impacto desde el punto de vista del cliente, es decir, si el cambio impacta la experiencia final del usuario. Por ende, desde la propuesta de valor, tanto del producto como del servicio, debe solucionar problemas. De ahí se definen tres tipos de innovación: a) marginal, la que mejora la propuesta de valor, por ejemplo: enviar mensajes de texto sin costo por dispositivos móviles; b) incremental, la

que aumenta la propuesta de valor, por ejemplo, hacer fotos desde el teléfono celular; c) radical, la propuesta de valor nueva, por ejemplo, el primer teléfono (Fallas, 2021).

Adicionalmente, hay tres elementos de la innovación. El primero es el **proceso de cambio**, que involucra acciones de cambio, el hacer para cambiar, precisamente, porque no se puede innovar sin ejecutar acciones. El segundo es la **implantación**, son cambios concretos y útiles, pero que introducen mejoras, novedades, aspectos significativos. El tercer elemento es la **sostenibilidad**, son cambios que permanecen en el tiempo.

En la línea de innovación, negocios y desarrollo, se debe incorporar la gestión proactiva y el pensamiento de futuros alternativos, porque abren múltiples posibilidades de lo que puede ocurrir en el futuro. Una empresa u organización que se prepare con éxito para los cambios debe valorar la innovación, junto con la anticipación, el desarrollo vinculado a un pensamiento crítico y los negocios con una perspectiva de futuro. Estos componentes articulados y bajo una misma visión pueden resolver problemas emergentes, identificar necesidades y atenderlas, gestionar las oportunidades y establecer estrategias para enfrentar la incertidumbre (Fallas, 2021).

Adriasola (2019) señala dos métodos más comúnmente utilizados en Latinoamérica para enseñar innovación: el Pensamiento de diseño- *Design Thinking*- y Doble Diamante - *Double Diamond*- (tabla 8). Ambos generan empatía e integración con los usuarios potenciales o personas participantes en los procesos de inmersión, por medio del empleo de técnicas etnográficas y, a su vez, de cocreación. Estas facilitan la comprensión del entorno para los investigadores y contribuyen a la creación de proyectos más conectados con comunidades.

Tabla 8. Métodos para enseñar innovación en la región latinoamericana

Etapas en los métodos de innovación	
<i>Design Thinking</i>	<i>Double Diamond</i>
Empatizar	Descubrir
Definir	Definir
Idear	Desarrollar
Prototipar	Entregar
Testear	

Fuente: Adriasola (2019).

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en América Latina, menciona varios laboratorios de innovación pública en Latinoamérica que utilizan los métodos indicados anteriormente, por ejemplo: el Laboratorio de Innovación Quito (linq), el Laboratorio de Buenos Aires (2016) o ViveLab Bogotá (Colombia) y el Laboratorio de Gobierno en Chile, que ocupa el método *Double Diamond* e incluye técnicas de cocreación. La importancia de la aplicación de estos métodos es convocar y reunir a todas las partes interesadas (stakeholders) para realizar una política pública o abordar un problema social desde diversos perfiles. De esta manera, involucran, por ejemplo, a ciudadanos, usuarios de los servicios, empleados públicos, representantes del sector privado y la academia (Acevedo, 2016).

Asimismo, con estos métodos, el proceso de innovación permite “fallar” en entornos seguros (Adriasola, 2019). Considerando que en la cultura latinoamericana es común el miedo al fracaso, los modelos permiten equivocarse como parte del crecimiento y aprendizaje. Se busca normalizar el error como parte de un proceso de experimentación y validar la inversión en ideas más creativas, aunque existan fallos, porque allí están las oportunidades para mejorar resultados.

Por su parte, las organizaciones requieren de la innovación para mantener su competitividad y sostenibilidad en el mercado. Las innovaciones que se están consolidando son las impulsadas por las nuevas tecnologías, las cuales se vinculan con la “creación de valor”, la “innovación abierta”, las “pequeñas empresas” y las “redes”. Estas responden a la transformación digital como cuarta revolución industrial y al desarrollo de ciudades

inteligentes. Asimismo, se observa un crecimiento de tecnologías y plataformas emergentes que han alcanzado mayor rendimiento mediante el fomento de la capacidad de innovación colaborativa (López, 2020).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) señalaba desde 2010 que la innovación constituye un elemento esencial para enfrentar retos globales. Se hacía referencia a desafíos como el cambio climático, la salud, la seguridad alimentaria y la pobreza. Además, se otorgaba a la innovación un papel central al considerar que debía contribuir a cambios estructurales en toda la cadena de valor. Este enfoque no se limitaba al desarrollo de productos para la tecnología y la industria, sino que incluía modificaciones en procesos y prácticas existentes.

En ese sentido, desde las políticas públicas de los Estados, se establece la tarea de promover la innovación. Esta debe orientarse a la necesidad de adaptarse al entorno y a la comprensión de la dinámica de los diferentes actores que conforman las dimensiones social, política, económica, ambiental y tecnológica. De esta manera, se procura contar con la preparación necesaria para emprender acciones innovadoras y beneficiarse de sus resultados. En este proceso, se deben implementar mecanismos eficientes que articulen la cooperación internacional en ciencia, tecnología e innovación, con el fin de que esta última funcione como motor de crecimiento y desarrollo.

La innovación funciona en una red de colaboración. El conocimiento es compartido, “es un proceso altamente interactivo y multidisciplinario, que involucra con frecuencia mayor colaboración dentro de una red creciente y diversa de participantes, instituciones y usuarios” (OCDE, 2010). El capital humano es su centro, de ahí la importancia de gestionar el empoderamiento de las personas, al brindar derecho fundamental de la educación y el desarrollo de más habilidades que complementen la educación formal.

En el ámbito de la innovación en la administración pública, se reconoce que los gobiernos cuentan con recursos limitados y que resulta necesario establecer prioridades. En este contexto, las asociaciones público-privadas (APP) orientadas a la innovación, la investigación y el desarrollo (I+D+I) ofrecen alternativas para unir esfuerzos entre los sectores público y privado. Estas asociaciones permiten abordar las limitaciones del sector público en el acceso a los sistemas de innovación y aprovechar la cercanía del sector privado con ámbitos como la industria y la investigación pública. Se plantea así una cooperación “estratégica” de largo plazo.

Vega (2019) expone una serie de desafíos que enfrenta la innovación en la administración pública en un país como Costa Rica. Se identifican retos para que las entidades públicas logren aplicar de manera adecuada el enfoque de innovación, entre los cuales se encuentran los siguientes puntos:

- **Innovar no se trata de avances tecnológicos:** de manera errónea, se asume que la innovación ocurre mediante la adquisición de equipo tecnológico. Un ejemplo de ello se observa en la gestión de datos: se insiste en crear datos con propósito e intencionalidad para ofrecer soluciones a problemas y se capacita al personal en analítica de datos. Sin embargo, no existen datos que gestionar porque no se ha desarrollado una cultura orientada a generarlos y analizarlos posteriormente.
- **Innovación implica un cambio en la cultura:** en la institucionalidad pública, la innovación tiene doble salida, tanto en mejorar la relación con los ciudadanos como en generar procesos inteligentes y confiables a los funcionarios. Por ende, Vega (2019) aclara que se debe ser “metódicos en la inteligencia del proceso; y asegurarse logros de mediano y largo plazo, que brinden seguridad a los impulsores. Los cambios culturales en la innovación no deben dejarse a la libre, sino reconocerlos como procesos paralelos, que deben ser incorporados a las decisiones institucionales”.
- **Innovar no resuelve problemas de gestión:** se recomienda, en primer lugar, analizar a fondo las causas de los problemas o necesidades que se deben atender. Después de comprender las necesidades de los usuarios, se requieren procedimientos adecuados, la eliminación de cuellos de botella, la mejora de la comunicación y el establecimiento de canales apropiados. También, se debe identificar la carga laboral, así como las habilidades y el conocimiento presentes en la organización

para atender la necesidad. Solo después de este análisis, se valora si se requiere un sistema informático, ya que en ocasiones la mejora en la gestión permite agilizar los procesos sin necesidad de recurrir a soluciones tecnológicas.

- **Control excesivo puede inhibir la innovación:** Vega (2019) lo explica muy bien “tenemos organizaciones centradas en normas, necesitamos un Estado centrado en las personas. Esta transformación debe llamar a las instancias de gestión y control nacionales a repensar mecanismos que permitan a los funcionarios espacios seguros de creación, sin perder el apego a las reglas y al debido proceso. Una forma que actualmente funciona a nivel nacional e internacional es la creación de laboratorios de innovación, que desde espacios académicos permitan la creatividad, el pensamiento, la reformulación y el prototipado de cambios, minimizando costos”, en este caso ella recomienda que debe pensarse la cultura de la innovación como parte de la dinámica institucional, plantear su diseño y constituir un fortalecimiento operativo para q sea operativo.
- **Procesos de innovación centrado en personas:** especialmente, las usuarias del servicio. En algunos casos, las soluciones no generan el valor público requerido, porque no se tomó en cuenta a la persona usuaria.
- **El Estado no debe dirigir la innovación:** al ser la innovación “per se” una modalidad colaborativa, la función del Estado es tener la capacidad de “satisfacer las necesidades de los ciudadanos de una nueva manera” (Vega, 2019). Debe ser un aliado más que promueve respuestas efectivas a la sociedad.
- **Innovación requiere información:** para generar información de calidad, la base de la pirámide son los datos. Si estos no gestionan de forma adecuada, la información no posee la calidad para la toma de decisiones. A veces se cuenta con datos, pero estos están dispersos y se carece de una estructura para compartirlos libremente. Por esta razón, Vega (2019) señala que “Una acción urgente es lograr la interoperabilidad de las bases de datos actuales que mejoren las decisiones y disminuyan los trámites a nivel de usuario”.
- **Innovar requiere colaboración entre instituciones:** este proceso demanda un cambio en el paradigma sobre cómo deben interrelacionarse las entidades públicas para solucionar problemas públicos. Se requieren mecanismos que permitan que los puentes interinstitucionales no dependan únicamente de voluntades políticas. Por ello, resulta urgente contar con “mecanismos de colaboración e interoperación que permita que la innovación pública se gestione de forma armoniosa y pueda evolucionar” (Vega, 2019).
- **No requiere grandes inversiones económicas:** la innovación no parte ni de tecnología ni de aspectos económicos, sino de la fortaleza de las personas y del papel de la organización para: a) identificar las necesidades presentes y futuras y los cambios que se requieren implementar para satisfacerlas; b) conciliar el fracaso como parte del proceso de crecimiento en el aprendizaje de innovación y no como un problema; c) generar confianza en cambiar lo establecido; d) promover las diferentes visiones para un mismo proceso; d) promover del conocimiento y compartirlo
- **Eliminar la confianza adultocéntrica en la toma de decisiones:** A las personas jóvenes se les limita la participación en los procesos, por lo que se reducen sus responsabilidades bajo el argumento de que “son jóvenes”. Esta exclusión restringe el alcance de los procesos de innovación. Por ello, se recomienda gestionar su participación como “ciudadanos creativos e innovadores, respetarlos y permitirnos a los adultos pensar de manera diferente a través de ellos. Eso implica, en el mediano plazo, generar en ellos la confianza creativa para rediseñar un nuevo país” (Vega, 2019).

Unidad III.

3.1. Análisis documental

Estado del Arte

Contextualización nacional

Costa Rica se localiza en Centroamérica, dentro de la Zona de Convergencia Intertropical. Esta ubicación geográfica se caracteriza por tener una estación seca y lluviosa, y se ve influenciada por los efectos de los vientos alisios que convergen del hemisferio norte y sur. Según Gilberth Vargas (2002), especialista en Geografía, esta es una zona que “presenta características climatológicas muy propias que no se encuentran en ningún otro lugar y sobre las cuales no se pueden ejercer influencia. Dominan las altas temperaturas y las precipitaciones abundantes, que influyen en el suelo y en la fisonomía, estructura y composición florística de la vegetación. Estas condiciones naturales de lluvia, temperatura y suelo repercuten en actividades humanas tales como el uso de la tierra, y en los desequilibrios que provocan”. Por consiguiente, el país se ve afectado por precipitaciones intensas que generan inundaciones en algunas regiones y, al mismo tiempo, escasez de lluvia que provoca sequías en otros sitios.

El Programa del Estado de la Nación (PEN, s.f) menciona sobre el país que tiene 5 millones de personas, con un crecimiento poblacional en los últimos 30 años de 2 millones, partiendo que en 1990 la población era de 3.029.336 personas. Actualmente tiene una esperanza de vida alta, aproximadamente de 80 años, indicador semejante a los países desarrollados.

De acuerdo al Índice Global de Competitividad (CGI, siglas en inglés)¹ que mide el desempeño de 140 países en 12 pilares de competitividad, es relevante como "puntuación de progreso" en una escala de 0 a 100. En el caso del país, este presentó una puntuación en el 2019 de 62, y 68 en el Pilar de Infraestructura (*Tabla 9*), posicionado de tercero junto a Uruguay a nivel Latinoamericano.

Según García (2019) el país se posicionó “como el quinto país más competitivo en la región en el puesto 62. Dentro de las fortalezas que presenta el país, el informe señala que, en los temas de infraestructura, salud, habilidades y productos, Costa Rica se posiciona más alto que el promedio latinoamericano”. García (2019) señaló además los retos que enfrenta el país en el área más crítica de adopción de TIC, particularmente en lo relacionado con las suscripciones a internet de fibra óptica y banda ancha fija. También, hizo referencia al tema de la innovación, en el cual persiste un rezago, debido al escaso interés institucional en la investigación y en la producción de publicaciones científicas.

Por su parte, en el índice de Gestión del Riesgo Global del año 2022, según Orozco y Brenes (2022), Costa Rica “ocupó el puesto 82 de 191 países, con un índice Global de 3.2, el primer país Centroamericano y el 15 de la región latinoamericana y el Caribe con los mejores indicadores en gestión del riesgo, basado en 3 dimensiones: amenaza y exposición, vulnerabilidad y falta de capacidad de adaptación. En este último, Costa Rica presenta la mejor puntuación (2.6), seguido por vulnerabilidad (3.5) y amenaza y exposición (3.6)”.

¹ El IGC desarrollado por el Foro Económico Mundial, sus pilares de competitividad son: Instituciones, Infraestructura, Adopción de TIC, Estabilidad Macroeconómica, Salud, Habilidades, Mercado de Productos, Mercado Laboral, Sistema Financiero, Tamaño del Mercado, Dinamismo Empresarial y Capacidad de Innovación.

Tabla 9. Resultados de Infraestructura Índice Global de Competitividad y Pilar de Infraestructura

País	Global	Infraestructura
Chile	70.5	76.3
Mexico	64.9	72.4
Uruguay	63.5	68.7
Costa Rica	62.7	68.7
Colombia	62.0	64.3
Peru	61.7	62.3
Panama	61.6	69.5
Brazil	60.9	65.5
Argentina	58.3	68.3
Rep. Dominicana	57.2	64.4
Ecuador	55.7	69.1
Guatemala	53.6	55.9
Paraguay	53.5	59.8
El Salvador	52.6	61.0
Honduras	52.6	57.4
Nicaragua	51.8	55.6
Bolivia	51.5	57.1
Venezuela	41.8	46.2
Promedio	57.6	61.3

Fuente: Villalta (2020).

Respecto a su crecimiento económico, el PEN (s.f) indica que en “los últimos 30 años el PIB per cápita se ha quintuplicado, al pasar de 2.319 dólares por persona en 1991 a 12.218 en el año 2019. El mayor crecimiento se observa en la primera década del siglo XXI, pues en el año 2000 se estimaba en 3.863 dólares, cifra que aumentó a 8.197 una década después”.

Para el año 2025, el país pasó de ser catalogado como de ‘renta media alta’ a clasificarse como un país de ‘ingreso alto’ por el Banco Mundial, debido a la mejora en el “Ingreso Nacional Bruto (INB) per cápita superior a los \$13.845 (...) expertos en materia económica consultados por LA REPÚBLICA destacaron que la nueva calificación no solo mejora la percepción internacional de estabilidad económica, por lo que más empresas quieran venir al país a generar empleo, sino también que es una excelente carta de presentación ante organismos internacionales sobre el manejo macroeconómico y el acceso al crédito”. (Arrieta, 2025)

En consecuencia, apunta Arrieta (2025) “Al dejar de ser considerado un país de renta media perdemos acceso a créditos blandos o concesionales, a programas de cooperación y asistencia técnica, que suelen ofrecer tasas más bajas y plazos más largos. Ahora, debemos continuar mejorando la productividad y aprender a impulsar el crecimiento con menos ayuda externa, dado que no se justifica ese tipo de ayuda para un país de ingresos altos”.

Respecto al comportamiento de la cooperación en el país, un estudio del año 2023 del Área de Cooperación Internacional, del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (2024), indicó:

En el último año, Costa Rica gestionó un total de US\$2.312,03 millones de cooperación internacional. Este monto refleja una disminución en la cooperación reembolsable, la cual representó el 93% (US\$2.150 millones) del total, mientras que un 7% fueron recursos no reembolsables (US\$162,03 millones).

Según la publicación, la cooperación no reembolsable ha experimentado una disminución paulatina entre el 2021 y el 2023, alcanzando la suma de US\$162,03 millones. Esta cifra contrasta con lo reportado en 2021, año en el que se registró un total de US\$220,9

millones, montos que no se veían en el país desde la década de los noventa, y que estuvo vinculado con los recursos de ayuda humanitaria recibidos; para atender la crisis sanitaria por la pandemia del COVID-19; y que para el 2023 no se recibieron.

En el estudio, Estados Unidos destaca como principal donante de la cooperación bilateral en el 2023 con 63.7% (US\$58.33 millones) del total en este tipo de cooperación (US\$91.61 millones). Durante 2020, 2021 y 2022, Francia fue el principal donante, aunque con una importante disminución del 70.52% respecto al año 2022, que registró un monto de US\$310.78 millones (Mideplan, 2024).

En cuanto a la cooperación multilateral, el principal socio para el país fue el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). Tal como lo señaló Mideplan (2024), para el año 2023, este representó el “45,17% del total de la cooperación multilateral gestionada y ofrecida al país, cuyos recursos se destinan a apoyar diversos proyectos de infraestructura e infraestructura vial, entre otros”. Además, resaltó que el sector de Infraestructura y Transportes recibió “la mayor parte de los recursos de cooperación, con un 57,46% del total (US\$1.328,65 millones)”.

Al consultar en el Sistema de Gestión de Proyectos de Cooperación Internacional (SIGECI), del Sector Obras Públicas y Transportes entre el periodo 2011 y 2026, se registran 18 proyectos con categoría “ejecutados”. Estos se relacionan con aviación civil, logística de carga, sistema de transporte, descarbonización, Puerto Caldera, gestión de carreteras y puentes, preparación en gestión de riesgo y desastre, seguridad vial, observatorio de datos en transporte, entre otros. La información de la cooperación recibida se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 10. Cooperantes de los proyectos del Sector Obras Públicas y Transportes 2011-2026

Proyectos con Cooperación internacional²	Monto Ejecutado
Agencia Centroamericana para la Seguridad Aeronáutica (ACSA), República de Costa Rica, Unión Europea.	\$7 692 307,69
Banco Interamericano de Desarrollo (BID), República de Costa Rica	\$2 862 019,40
Banco Mundial (BM), República de Costa Rica	\$556 000,00
Estados Unidos de Norteamérica, República de Costa Rica	\$560 315,78
Estados Unidos Mexicanos, República de Costa Rica, República de Panamá	\$24 800 000,00
Organización Panamericana de la Salud /Organización Mundial de la Salud. (OPS/OMS), República de Costa Rica, República Dominicana	\$994 450,00
Reino de España, República de Costa Rica	\$40 460,20
Reino de España, República de Costa Rica, República de El Salvador	\$7 641,98
República de Colombia, República de Costa Rica	\$26 921,36
República de Corea, República de Costa Rica	\$12 878,00
República de Costa Rica	\$2 000,00
Total general	\$37 554 994,41

Fuente: SIGECI (2025).

Según el Índice de Desempeño Ambiental, en el año 2022, el país obtuvo un puntaje de 46,3 sobre 100, con una posición de 68 en el mundo y de 15 en Latinoamérica. La evaluación consideró indicadores en varios

² Para los proyectos financiados con recursos externos no reembolsables, se establece la contrapartida institucional, monetizando los aportes técnicos de los expertos costarricenses.

campos como cambio climático, manejo de la biodiversidad y desechos, vitalidad de los ecosistemas entre otros. Entre las razones que se apuntan a la baja nota están: “Falta de regulaciones y financiamiento, desmantelamiento de instituciones y escasos controles legales ambientales ... un alto riesgo de contaminación en el agua y la biodiversidad por el uso de plaguicidas y especies en peligro de extinción amenazadas por agroquímicos...” (Camarillo, 2022)

Con respecto a temas de acciones climáticas, el país se ha mantenido activo desde el 2010. En la Figura 10, se aprecian, a manera de resumen, los hitos desde 2010 y 2020. Destacan las políticas públicas en adaptación y mitigación del cambio climático, gestión del riesgo y desastres, y compromisos para las contribuciones no determinadas.

En los últimos años, se ha creado nueva legislación para mejorar la planificación de obra pública, que incorpora modificaciones en procedimientos, manuales y demás instrumentos. Esta normativa adopta un enfoque de planificación en gestión de riesgo y desastres, para reducir el impacto, generar adaptación y mitigar los daños que pueden ocurrir por variabilidad climática o por cambio climático. Esta legislación incide en el cómo se deben hacer las obras de infraestructura en el país. La Tabla 11 menciona el objetivo de cada una.

Tabla 11. *Legislación relacionada con cambio climático y su vinculación con la obra de infraestructura*

Decreto y nombre	Objetivo	Fecha de publicación
N° 42465- MOPT-MINAE-MIVAH Lineamientos generales para la incorporación de las medidas de resiliencia en infraestructura pública	Establecer lineamientos de orden general, con la finalidad de que las instituciones que ejecutan obras de infraestructura pública realicen la evaluación del riesgo con un enfoque multi-amenaza. Se deben considerar los escenarios presentes y proyecciones de cambio climático y la variabilidad climática, para las decisiones técnicas y administrativas aplicables en todas las etapas del ciclo de vida de los proyectos. De esta manera, la protección de la infraestructura y la continuidad de los servicios deben contribuir a la resiliencia de las poblaciones y comunidades.	Diario oficial La Gaceta, 20 de octubre del 2020.
Decreto Ejecutivo 42961-MINAE Creación y Operación del Sistema Nacional de Métrica de Cambio Climático	Se crea el Sistema Nacional de Métrica de Cambio Climático (SINAMECC). Se constituye en la plataforma oficial de coordinación y vinculación institucional y sectorial del Estado costarricense, para facilitar la compilación, gestión y divulgación del conocimiento e información en materia de cambio climático.	Diario oficial La Gaceta, 14 de mayo 2021.
Decreto Ejecutivo 44710-MINAE Reglamento para la incorporación de la variable ambiental en planes de ordenamiento territorial	Se incluye el cambio climático como uno de los ejes a analizar en el Índice de Fragilidad Ambiental. En el punto 1.3 indica “Los ejes de información ambiental fundamental a tomar en cuenta son: Geológico, Biológico, Aspectos edafológicos, Cambio Climático”. Ya en el apartado 6 señala que se deben considerar en el análisis aspectos como: potencial de afectación por cambio relativo del nivel del mar relacionado al cambio climático, potencial de afectación por sequía e información de proyecciones de cambio climático. Adicionalmente, solicita análisis de gestión de riesgo ante amenazas naturales y amenazas por cambio climático. En el caso de inundación, se solicita incluir la modelación de las proyecciones de precipitación bajo diferentes escenarios de cambio climático.	Diario oficial La Gaceta, 17 de febrero del 2025.

Fuente: elaboración propia (2025).

Figura 10. Políticas y compromisos ligados a la adaptación climática en Costa Rica 2010-2020

Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) 2010-2021	2010	Establece las pautas para alcanzar Carbono Neutralidad al 2021, fortaleciendo la competitividad y el desarrollo sostenible de la economía.
Creación de la Dirección de Cambio Climático	2011	Se establece como parte del Ministerio de Ambiente y Energía (DCC-MINAE) bajo el Decreto Ejecutivo No. 364337-MINAE. Coordina la ENCC y ejerce la coordinación sectorial en materia climática.
Política Nacional de Gestión de Riesgo 2016-2030	2015	Orienta las acciones de gestión del riesgo, que contribuyan a cumplir la aspiración de un desarrollo nacional seguro y sostenible.
Estrategia y Plan de Acción para la Adaptación del sector biodiversidad de Costa Rica al Cambio Climático	2015	Dirige los esfuerzos del país en materia de biodiversidad. Reconoce la importancia de la participación ciudadana y la gobernanza para la adaptación, el aumento de resiliencia y la reducción de vulnerabilidad.
Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático	2015	Hoja de ruta, establece las pautas y obligatoriedad de planificar y ejecutar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.
Contribución Prevista y Determinada a nivel Nacional de Costa Rica	2015	Proyección a mediano y largo plazo, contiene las metas del país en materia climática de aquí al 2030 y defiende su compromiso en estas acciones ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.
Plan de Acción de Gestión de Riesgo	2016	Instrumento de enfoque estratégico destinado a orientar todos los actores de la actividad nacional en el cumplimiento de la Política de Gestión de Riesgo.
Plan Nacional de Descarbonización	2018	Sintetiza las acciones estratégicas para potenciar la descarbonización de la economía del país. El país se compromete a convertirse en una economía descarbonizada, con cero emisiones netas al año 2050.
Política Nacional de Adaptación	2018	Marco rector que orienta las acciones en materia de adaptación. Este busca articular los esfuerzos del país en adaptación al cambio climático.
Decreto Infraestructura Resiliente	2020	Se establecen lineamientos para que las instituciones públicas responsables de ejecutar obras de infraestructura pública realicen una evaluación del riesgo climático tomando en cuenta los escenarios presentes y futuros de cambio climático y la variabilidad climática.
Actualización Contribución Determinada (NDC) de Costa Rica y Comunicación sobre la Adaptación	2020	Costa Rica se compromete a un máximo de emisiones en el 2030 de 9.11 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente y a fortalecer las condiciones de resiliencia, mediante el desarrollo de capacidades, la inclusión de criterios de adaptación en instrumentos de financiamiento y planificación, la adaptación de los servicios públicos, sistemas productivos y la implementación de soluciones basadas en naturaleza.

Fuente: DCC (2021).

Es importante resaltar, en el Decreto 42465-MOPT-MINAE-MIVAH, el artículo 10°, que establece la obligación expresa de las instituciones públicas generadoras de datos de compartir la información, reconoce su carácter público y la relevancia de esta accesibilidad para la evaluación del riesgo. Estos datos pueden comprender estadísticas, estimaciones, información histórica o proyecciones sobre el comportamiento de variables y eventos vinculados con amenazas y vulnerabilidad. Se establece, además, que los datos deben presentarse en formatos adecuados para que los diferentes usuarios realicen modelaciones y construyan escenarios de riesgo. Aunque la norma distingue que las instituciones deben definir cuáles datos o servicios de información son gratuitos y cuáles tienen un costo.

Con respecto al Decreto 42961-MINAE, el Sector de Obras Públicas y Transportes tiene el compromiso de incorporarse al SINAMECC a fin de que su información esté vinculada con este Sistema y sumar datos respecto al CC. Adicionalmente, el Sector participó en la construcción de la Metodología de Evaluación de Riesgo Climático de Infraestructura en Costa Rica (MERC-ICR) (2023), la cual se complementa con el Decreto 42465.

La construcción de la obra pública costarricense se encuentra respaldada por normativa y procedimientos que han fortalecido la calidad y el debido proceso. Existen varios hitos importantes que sustentan este avance. Uno de ellos corresponde a la función del ente fiscalizador de los fondos públicos del Estado costarricense, la Contraloría General de la República, que en 1998 emitió el *Manual Técnico para el Desarrollo de Proyectos de Obra Pública*. Años más tarde, y considerando el desarrollo sostenible del país, se emitió el Decreto Ejecutivo 37070 del Código Sísmico de Costa Rica en 2002, lo cual fortaleció la infraestructura nacional ante amenazas sísmicas. Asimismo, el Mideplan, a cargo del Sistema Nacional de Inversiones Públicas, ha generado aportes técnicos y científicos mediante guías metodológicas, lineamientos y normas para los proyectos de inversión pública durante todo el ciclo de vida del proyecto.

A lo anterior se suma que el Sector de Obras Públicas cuenta con leyes, reglamentos y manuales técnicos especializados de gran rigurosidad, los cuales han permitido construir la obra pública del país con altos estándares de calidad. Esta normativa puede consultarse en el apartado de los Anexos, número 1, de este documento.

Adicionalmente, en 2022 se publicó la herramienta *Metodología de Evaluación del Riesgo Climático para Infraestructura* (MERC-ICR) en respuesta al requerimiento establecido para el diseño de la infraestructura pública en Costa Rica en el Decreto de Resiliencia (DE-42465-MOPT-MINAE-MIVAH), citado previamente. Su principal objetivo consiste en brindar una herramienta de evaluación del riesgo climático aplicable tanto a infraestructura pública como privada. Además, dispone de facilidades para colaborar en el planteamiento técnico de medidas de adaptación para su gestión, incluidas las soluciones basadas en la naturaleza. En el ámbito del análisis del riesgo, orienta la definición de los factores de amenaza para mantener la continuidad del servicio y ofrece instrumentos para intervenir dichos factores y fortalecer la infraestructura, de manera que resulte resiliente frente al riesgo.

Asimismo, el Instituto Meteorológico Nacional y el MINAE han trabajado, junto con la academia y la cooperación internacional, en publicaciones técnicas destinadas a poner a disposición del territorio costarricense diversas metodologías. Una de ellas es la *Guía Metodológica para la Integración del Riesgo en los Proyectos de Infraestructura Pública Vial*, elaborada como parte del proyecto “Acción Proyectiva: Fortalecimiento de capacidades para la utilización de información climática para robustecer los procesos de toma de decisiones”. Su finalidad es contribuir a las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC, por sus siglas en inglés) y a las acciones de la Política Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Esta guía es aplicable a corredores viales e incluye un ejemplo práctico en la Ruta Nacional 32. Aborda amenazas vinculadas con la inestabilidad de laderas, los lahares en el puente del río Sucio, las amenazas sísmicas y las avenidas fluviales en algunos puentes de la RN-32 de Costa Rica.

Un segundo estudio desarrollado en el marco de este proyecto corresponde al análisis de la dinámica costera del país, titulado *Estudios y proyecciones de aumento en el nivel del mar y erosión costera para las dos costas de Costa Rica*. En este documento se plantean los posibles escenarios hacia el año 2100, en caso de que el nivel del mar aumente hasta 1,01 m en las costas del territorio nacional en un periodo de 75 años. Además, incluye escenarios previos correspondientes a 2030, 2050 y 2070. Como producto técnico-científico, analiza los impactos del aumento del nivel del mar y de la erosión costera, especialmente en zonas críticas del país como Caldera (Pacífico Central) y Manzanillo (Caribe). Para este ámbito costero, el Instituto y el Proyecto Acción Proyectiva también incorporaron una guía metodológica para la elaboración de escenarios de nivel del mar y erosión costera en el país.

En este punto, es necesario contextualizar el Sector Obras Públicas y Transporte de Costa Rica y analizarlo desde la gestión de tres dimensiones: Cambio Climático (CC), Gestión del Riesgo y Desastres (GRD) y Gestión de Conocimiento (GC).

El Sector de Obras Públicas y Transporte en Costa Rica: Cambio Climático y Gestión de Riesgos y Desastres

En Costa Rica, según la Política Nacional de Gestión de Riesgo (PNGR) 2016-2030, el riesgo se define como “la probabilidad de que ocurran eventos de desastre, ... situaciones que se desencadenan como resultado de fenómenos de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que, al encontrar en una población condiciones propicias de vulnerabilidad, causa alteraciones intensas en las condiciones normales de funcionamiento de la comunidad, tales como pérdida de vidas y de salud en la población, destrucción o pérdida de bienes de la colectividad y daños severos al ambiente” (CNE, 2015, pág. 22)

En cuanto al término Gestión del Riesgo, la Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo de Costa Rica N°8488, la define como “el proceso mediante el cual se revierten las condiciones de vulnerabilidad de la población, los asentamientos humanos, la infraestructura, así como de las líneas vitales, las actividades productivas de bienes y servicios y el ambiente. Es un modelo sostenible y preventivo, al que incorporan criterios efectivos de prevención y mitigación de desastres dentro de la planificación territorial, sectorial y socioeconómica, así como a la preparación, atención y recuperación ante las emergencias”.

El BID, en su curso sobre *Análisis del riesgo de desastres y cambio climático en proyectos de infraestructura* (2022) presenta la gestión de riesgos de desastres (GRD) como un proceso sustancial, que inicia con la identificación de riesgos de desastre, sigue con la implementación de acciones o medidas para la reducción de riesgos, mejorar la preparación de respuesta y recuperación en caso de desastre y gestionar la protección financiera frente a los riesgos identificados. Este proceso tiene como propósito proteger la vida, generar calidad de vida, seguridad, resiliencia y desarrollo sostenible.

Además, señala como fundamental de la GRD en los proyectos de infraestructura, el impacto que los fenómenos hidrometeorológicos tienen sobre la infraestructura, la cual es vital para el desarrollo de los territorios. De ahí que promueva el análisis de riesgo en todas las fases del ciclo de vida de estos proyectos, desde el diseño, implementación, operación y mantenimiento, considerando a su vez que se analice tanto el riesgo actual como los posibles riesgos futuros, cambio climático o riesgos socioeconómicos (BID, 2022).

Por su parte, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 adoptado en la tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas y celebrada en Sendai (Japón) el 18 de marzo de 2015, señaló como una de sus metas globales el “d) Reducir considerablemente los daños causados por los desastres en las infraestructuras vitales y la interrupción de los servicios básicos, como las instalaciones de salud y educativas, incluso desarrollando su resiliencia para 2030” (ONU, 2015).

En este marco se establecieron cuatro prioridades fundamentales. La Prioridad 3, “Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia”, otorga relevancia al término resiliencia en relación con la acción de reducir el riesgo. El análisis del riesgo desde la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) implica examinar e identificar las medidas necesarias para disminuirlo y determinar la manera de incorporarlas con el fin de obtener infraestructuras resilientes frente a las amenazas naturales y al impacto del cambio climático. Este análisis, a su vez, genera información para la toma de decisiones (BID, 2022).

El experto en GRD en Costa Rica, Carlos Picado, en el V Congreso de Gestión de Riesgo y Desastres y Adaptación al Cambio Climático 2022, señaló que “el cambio climático es un factor de riesgo de una amenaza

que nos enfrenta a peligros que pueden maximizarse y ser más extensos; por eso el Cambio Climático es un nuevo factor, es una condición que constituye una amenaza en el largo plazo y que puede afectar los territorios”.

El cambio climático (CC), al incrementar la frecuencia e intensidad de las amenazas climáticas, constituye uno de los factores que modifican el riesgo de desastres a futuro. Por esta razón, las evaluaciones de las medidas frente al riesgo asociado al CC en los proyectos de infraestructura deben considerarse tanto en el presente como en el futuro. El CC introduce variabilidad e incertidumbre en las amenazas naturales relacionadas con el clima y su análisis de riesgo se aborda desde una perspectiva temporal que considera proyecciones actuales y futuras (BID, 2022).

En 2017, la CGR elaboró el informe de auditoría del Sector Obras Públicas y Transporte (DFOE-IFR-IF-00002-2017) sobre la determinación de las medidas preventivas del Estado costarricense en la infraestructura de la red vial nacional ubicada en zonas vulnerables por eventos climáticos extremos, acentuados por el cambio climático y ocurridos entre 2014 y 2015. El informe concluye lo siguiente:

1) No desarrollaron acciones para prevenir, mitigar y adaptar el riesgo por efectos del cambio climático en el sector de la infraestructura de la red vial nacional; 2) Las metas establecidas en el Plan Nacional de Gestión del Riesgo (2010-2015) relacionadas con la reducción y/o prevención del riesgo en relación con el “Desarrollo e inversión en la infraestructura pública” fueron incumplidas; 3) No realizaron un aprovisionamiento presupuestal en los años 2014 y 2015, sustentada en un proceso de valoración de riesgos sistemático e integral, así como coordinado con la CNE, que permitiera establecer con claridad los riesgos vinculados con la infraestructura de la red vial nacional afectada por eventos climáticos extremos y la cantidad de recursos presupuestarios, destinados al control y prevención del riesgo de desastres (Brenes, 2018).

El informe instruye al MOPT y CONAVI a establecer permanentemente funciones y responsabilidades asociadas con la prevención y mitigación del riesgo por el cambio climático en la infraestructura de la red vial nacional (Brenes, 2018).

En 2018, la CGR, mediante el informe N°DFOE-EC-IF-00011-2018 referido a la “*Gestión de la Dirección de Edificaciones Nacionales del MOPT en el proyecto ciudad vial*” identificó una serie de observaciones en las etapas de preinversión, inversión y operación del proyecto. Por este motivo, el MOPT, en conjunto con la CNE, el MIVAH y MINAE desarrollaron el decreto N°42465 denominado “*Lineamientos generales para la incorporación de las medidas de resiliencia en infraestructura pública*”. Este busca que las instituciones responsables de ejecutar obras de infraestructura pública evalúen el riesgo con un enfoque multiamenaza, considerando escenarios presentes y proyecciones de cambio climático y variabilidad climática para la toma de decisiones técnicas y administrativas en todas las etapas del ciclo de vida de los proyectos, con el fin que la protección de la infraestructura y la continuidad de los servicios contribuyan a la resiliencia de las poblaciones y comunidades (Política ambiental, 2022).

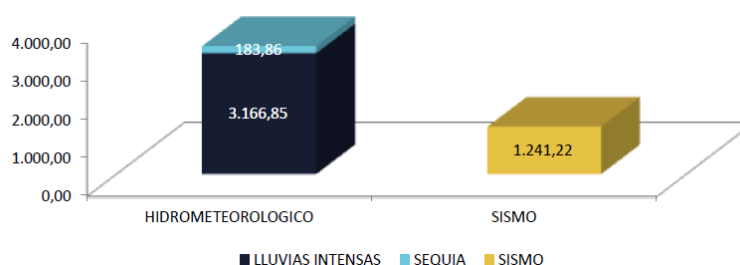
En dicho decreto, se reseña la importancia del Marco de Sendai en las políticas públicas del país por la relevancia de orientar las inversiones públicas y privadas en aras de “reducir el riesgo de desastres, por medio de medidas estructurales y no estructurales que son esenciales para aumentar la resiliencia económica, social, sanitaria y cultural de las personas, las comunidades, los países y sus bienes, así como el ambiente y a su vez, señala el deber de los Estados de promover la resiliencia de la infraestructura vital, nueva y existente, incluidas las de abastecimientos de agua, transporte y telecomunicaciones, las instalaciones educativas, los hospitales y otras instalaciones sanitarias para asegurar que sigan siendo seguras, eficaces y operativas durante y después de los desastres a fin de prestar servicios esenciales y de salvamento”.

Daños y pérdidas en el Sector Obras Públicas y Transportes

En Costa Rica, el MINAE (2012) apuntó que para “el periodo 1988-2009, el país presentó pérdidas por un total de US\$1.823 millones [en el año] 2006, donde el 99,85% corresponde a daños provocados por fenómenos naturales, en donde el mayor número de tipo de eventos (83%) lo conforman los hidrometeorológicos... las dos instituciones con mayor impacto son el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) con 38% del total y el sector Agricultura con 22 %”. Además, indicó que, en el 2008, más del 20% de la red vial presentó un deterioro avanzado y más del 50%, medio o bajo.

Por su parte, Mideplan (2019), en conjunto con varios sectores, presentó un compendio sobre el impacto de los fenómenos naturales para el periodo 1988-2018, por sectores, provincias y otras categorías. El informe señala las pérdidas económicas para el país por eventos hidrometeorológicos (figura 11). Por lluvias intensas alcanzaron el valor de \$3.166.848.926 y por sequías (déficit de lluvias) suman \$183.860.907³.

Figura 11. Costa Rica: Valor de los daños por tipo de evento y categoría, 1998-2018
-Millones de dólares constantes de 2015



Fuente: Mideplan (2019).

La categorización por sector identificó que las mayores cifras en pérdidas económicas corresponden al Sector de Obras Públicas y Transporte, con un total de \$ 1.818.254.587. Le siguen el sector agropecuario y sistema eléctrico, según apunta la Tabla 12.

Tabla 12. Costa Rica: Valor de los daños por sector afectado según clase de evento, Período 1988-2018

-Dólares constantes de 2015-			
Sector afectado	Hidrometeorológico	Sismos	Monto
INFRAESTRUCTURA VIAL	1.818.254.587	93.230.181	1.911.484.768
AGROPECUARIO	590.280.114	158.936.477	749.216.591
SISTEMA ELÉCTRICO	2.449.538	499.519.852	501.969.390
VIVIENDA	279.501.129	200.412.250	479.913.379
RÍOS Y QUEBRADAS	371.882.791	8.422.276	380.305.067
AMBIENTE	48.161.299	77.256.493	125.417.792
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS	61.561.146	34.843.341	96.404.486
SALUD	45.870.353	40.592.902	86.463.254
EDUCACIÓN	30.961.811	32.303.322	63.265.133
ATENCIÓN DE LA EMERGENCIA	51.325.205	11.638.320	62.963.525
PORTUARIO	955.373	39.325.135	40.280.507
EDIFICIOS PÚBLICOS Y PRIVADOS	18.457.060	12.801.045	31.258.104
FERROVIARIO	4.565.617	21.255.920	25.821.537
AERÓDROMO	12.434.415		12.434.415
ACTIVIDAD EMPRESARIAL	8.662.632		8.662.632
ENERGÍA	545.752	8.023.354	8.569.106
AEROPUERTO	4.287.877	1.497.693	5.785.570
TELECOMUNICACIONES	553.135	1.165.520	1.718.655
TOTAL	3.350.709.833	1.241.224.079	4.591.933.912

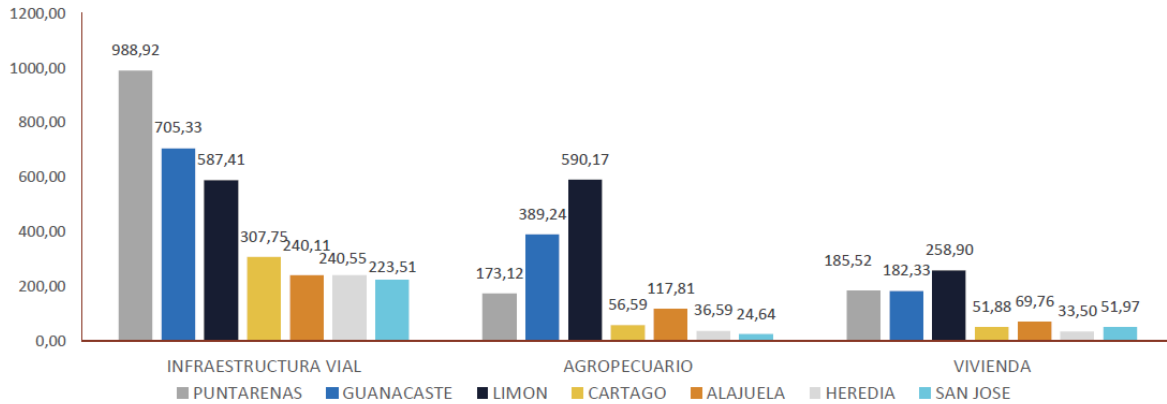
Fuente: Mideplan (2019).

³ En el estudio se indicó que los valores de los daños indicados en cada cuadro y gráfico, corresponden a valores constantes utilizando el Índice de Precios al Consumidor (IPC), donde el año de referencia es el 2015 y la moneda es el dólar estadounidense, es decir, los valores corrientes registrados se convierten a valores constantes del 2015.

Igualmente, en dicho documento se destacó que, entre 2005 – 2018, los daños ocasionados por fenómenos naturales representaron el 68% del total de los últimos treinta años, lo que muestra un evidente crecimiento de la vulnerabilidad y en la intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos atribuible al cambio climático.

En ese mismo estudio, al territorializar los datos por provincia, las provincias costeras del país localizadas en la periferia – Puntarenas, Guanacaste y Limón – son las más afectadas, en los tres sectores de infraestructura vial, agropecuario y vivienda (figura 12). Puntarenas ha presentado más pérdidas en infraestructura vial.

Figura 12. Costa Rica. Impacto de daños totales per cápita en los sectores Infraestructura Vial, Agropecuario y Vivienda en dólares constantes del 2015. Período 1988-2018



Fuente: Mideplan (2019).

Por su parte, la Comisión Nacional de Emergencia (CNE) cuenta con el Sistema para Reportes de Daños y Pérdidas, el cual dispone de datos generales para el periodo 2021–2025. Las instituciones y direcciones del Sector Obras Públicas y Transportes que han reportado a este sistema acumulan pérdidas de ₡327,279,099,361 (Tabla 13). Según la tipología, los reportes abarcan ríos y quebradas, carreteras, edificios públicos, puentes, alcantarillas y vados, así como infraestructura ferroviaria y aeropuertos.

Tabla 13. Reporte de daños y pérdidas del Sector según CNE 2021-2025

Nombre/Tipo	N° de Reportes	Fondo Nacional de Emergencias	Recursos propios	Emergencia
MOPT-Tecnológico	1	₡3,664,185,865		Ciberataques (2023)
MOPT- División de Obras Públicas	25	₡6,414,540,095	₡593,783,110	Tormenta Tropical Bonnie (2022)
	37	₡7,417,000,000		Influencia indirecta del Huracán Rafael (2024)
MOPT-Dirección de Puentes	3	₡4,010,899,825		Tormenta Tropical Bonnie (2022)
MOPT-Dirección de Obras Fluviales	700	₡221,425,584,570	₡9,837,428,000	Temporal vertiente caribe (2021), Tormenta Tropical Bonnie (2022), Huracán Julia (2022), Influencia indirecta del Huracán Rafael (2024)
Concejo Nacional de Vialidad	312	₡61,369,917,006	₡11,075,226,582	Temporal vertiente caribe (2021), Tormenta Tropical Bonnie (2022), Huracán Julia (2022), Influencia de zona de convergencia intertropical (2022), Influencia indirecta del Huracán Rafael (2024);

				contaminación de las fuentes de agua potable con mercurio (2023)
INCOFER	3	₡1,260,000,000		Temporal vertiente caribe (2021)
Dirección General de Aviación Civil	1	₡21,716,972,000		Tormenta Tropical Bonnie (2022)

Fuente: Datos de CNE (2025).

Adaptación y Mitigación del Sector Obras Públicas y Transportes

El país presentar una serie de afectaciones en diferentes sectores económicos por el Cambio Climático, la Dirección de Cambio Climático (DCC) del MINAE señalo al Sector como uno de los principales afectados en temas de la infraestructura vial por ocurrencia de inundaciones, deslizamientos sobre superficie de rodamiento o socavación, así como el deterioro de infraestructuras.

Por otra parte, en el “Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026” se indican diversos factores que vuelven a la infraestructura vulnerable frente al cambio climático y se explica cómo su interacción con amenazas asociadas al CC genera impactos potenciales (Tabla 14). Este aspecto resulta especialmente relevante para el Sector, dado que una red vial en mal estado o un modo de transporte con bajo rendimiento afecta la competitividad del país. Esta situación también reduce el atractivo del territorio para la inversión.

Tabla 14. Factores de infraestructura determinantes en la vulnerabilidad del país frente al CC y sus impactos potenciales

Factores	Impactos potenciales
<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructura insuficiente y deficiente en zonas rurales y territorios indígenas • Insuficiente infraestructura en ASP para su operación y aprovechamiento. • Construcciones en zonas no aptas o no permitidas. • Red de vías de baja calidad, que afectan la competitividad del país. • Insuficiente conexión de muchas zonas agropecuarias y turísticas con centros económicos. • Falta cobertura de telecomunicaciones en muchas zonas productivas. • Infraestructura deficiente en centros de población. • Desarrollo urbano sin opciones de esparcimiento. • Ordenamiento espacial territorial y costero-marino con falta de visión de largo plazo. • Pocas opciones financieras para que comunidades, empresas, hoteles, fincas, otros adquieran nuevas tecnologías de adaptación. • Desarrollo de infraestructura con falta de enfoque preventivo y de gestión del riesgo. • Uso de infraestructura verde-azul en soluciones basadas en la naturaleza, poco aprovechadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en el consumo de agua y de energía por temperaturas extremas e islas de calor. • Afectación a la infraestructura por destrucción, desgaste, reposición y mantenimiento. • Afectación a infraestructura costera por inundación y cambios en la línea de costa. • Interrupción de servicios públicos (salud, educación, energía, agua, telecomunicaciones). • Aumento en pérdidas y daños a infraestructura. • Encarecimiento de costos de operación para las actividades productivas. • Mayores dificultades logísticas y operativas en el traslado de bienes y personas. • Desestímulo al desarrollo empresarial y productivo. • Menor atracción de inversiones. • Pérdida de competitividad. • Pérdida de empleos.

Fuente: DCC (2022).

Asimismo, al considerar los tipos de infraestructura por modo de transporte, se identifican las vías y puentes, el sistema ferroviario, los puertos, la navegación fluvial y los aeropuertos. Para cada uno de ellos resulta

relevante analizar el impacto directo que podría generar el cambio climático y valorar sus efectos sobre la infraestructura, a fin de prever las posibles consecuencias en los servicios que esta brinda (tabla 15).

Tabla 15. Impactos potenciales del cambio climático en los servicios de infraestructura

Tipo de infraestructura	Impactos del cambio climático	Efectos en infraestructura
Transportes		
Vías y puentes	Cambio en los patrones, incremento y mayor intensidad de las precipitaciones	Inundación de caminos
	Inviernos más húmedos y veranos más secos	Socavación de las bases de puentes
	Altas temperaturas	Inestabilidad de terraplenes Incremento de daños en la superficie de rodamiento
Sistemas ferroviarios	Cambio en los patrones, incremento y mayor intensidad de las precipitaciones	Inundación de vías férreas
	Inviernos más húmedos y veranos más secos	Socavación de las bases de puentes
	Altas temperaturas	Inestabilidad de terraplenes Incremento del pandeo de carriles y rieles
Puertos	Incremento del nivel del mar	Inundación de la infraestructura
	Cambio en los patrones e incremento de tempestades y la velocidad del viento	Alteración de las operaciones de carga y descarga
	Alteración de temperaturas	Amplia fluctuación del uso de puertos por el derretimiento de capas de hielo que abren nuevas rutas de navegación
Navegación fluvial	Cambio en los patrones, incremento y mayor intensidad de las precipitaciones	Variación en los niveles de ríos utilizados para el transporte de personas y carga
Aeropuertos	Cambio en los patrones, incremento y mayor intensidad de las precipitaciones	Inundación de la infraestructura
	Altas temperaturas	Se dificulta la operación de despegue de los aviones; por tanto, genera un mayor consumo de combustible

Fuente: MOPT (2022).

En la búsqueda del país por lograr su adaptación y mitigar los impactos del cambio climático, el MOPT, junto con las instituciones del Sector, pretende garantizar la funcionalidad de los servicios que demanda la población en momentos críticos de afectación por eventos climáticos extremos. El Sector se compromete con el “Plan de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático de los Servicios de Infraestructura y Transportes 2022–2031” (PAMCCSIT). Este plan busca levantar la línea base sobre el grado de vulnerabilidad y riesgo climático de la infraestructura de obra pública vital, la implementación y el monitoreo del desempeño de las medidas de adaptación en la obra pública, así como el fortalecimiento de la estructura organizacional para incorporar conocimiento y tecnología como apoyo en el blindaje climático que requiere la infraestructura del país (MOPT, 2022).

Este plan busca enfrentar el cambio climático en obra pública, siguiendo tres ejes estratégicos:

- **Adaptación:** Toda medida implementada para desarrollar la resiliencia climática en la infraestructura se inicia desde la etapa de diagnóstico, mediante la evaluación de parámetros como el nivel de criticidad, la vulnerabilidad y el riesgo en vías, puentes, puertos, aeropuertos, aeródromos, el sistema ferroviario y las obras edilicias y fluviales. Este proceso facilita un conjunto de condiciones para desarrollar e implementar acciones de adaptación. Además, se emplean herramientas de monitoreo para dar seguimiento y aportar mejoras al instrumento (MOPT, 2022).

- **Mitigación:** reducir la huella de carbono, considerando la sostenibilidad ambiental de las instituciones y sus proyectos, la incorporación de medidas de construcción sostenible, uso de energías limpias y la descarbonización de la gestión de las instituciones del Sector.
- **Fortalecimiento de la capacidad organizacional:** hacer un replanteamiento del abordaje tradicional de la gestión, que incluya la ciencia del clima en la gestión de la infraestructura, con formación de profesionales y alta tecnología para enfrentar el cambio climático en los servicios de infraestructura y transportes. Se trata de un planteamiento renovador en la gestión de conocimiento, razón por lo cual este estudio prospectivo tiene asidero.

La obra pública de este Sector es vital para el desarrollo del país. Contribuye funcionalmente con los demás sectores e impulsa la economía nacional. Por ello, resulta fundamental considerar el impacto del cambio climático en cualquier obra pública, tanto actual como futura. Esta necesidad se sustenta en las pérdidas económicas del pasado y en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos que afectan el territorio en el presente y en el futuro. Por ejemplo, la magnitud de las pérdidas ocasionadas por el huracán Otto y la tormenta tropical Nate representó para Costa Rica un 0,4% y un 1,3% del Producto Interno Bruto de 2016 y 2017, respectivamente (MOPT, 2022). Según los datos de la CNE sobre daños y pérdidas, entre 2005 y 2023 las afectaciones en carreteras sumaron 499.950 millones de colones, para un total de 26 declaratorias de emergencia.

Este plan (PAMCCSIT) genera un cambio organizacional al involucrar la creación de nuevos datos. Se establece, así, el reto de gestionarlos bajo un enfoque que mantenga su dinamismo en el tiempo y su utilidad para la toma de decisiones futuras. Para efectos de esta investigación, se resaltan algunas metas del plan y se indican sus implicaciones a nivel de datos, gestión de la información y conocimiento. Se trata de aspectos importantes para conciliar una visión orientada al aprovechamiento de los productos del plan y para concebir la gestión del conocimiento de manera integral. Por ejemplo:

- **Línea base del grado de resiliencia climática de los servicios de infraestructura de obra pública del Sector:** implica identificar y gestionar los datos de los activos del Sector.
- **Implementación de medidas de adaptación para reducir el nivel de afectación y la inversión requerida para la recuperación de la infraestructura de obra pública:** implica estructurar bases de datos de la infraestructura de obra pública (red vial nacional, vía férrea, aeródromos, puertos) con variables que faciliten el seguimiento a las medidas de adaptación y fortalezca la gestión en la recuperación.
- **Herramientas para monitorear el desempeño de infraestructura vital y crítica durante el impacto de eventos climáticos extremos:** conlleva la vigilancia de fenómenos naturales y monitoreo de los servicios de transporte terrestres, aéreo y marítimo.
- **Instituciones del Sector reducen de manera progresiva y sistemática las fuentes de emisión de Gases de Efecto Invernadero:** considerando que cuantificarán las emisiones en el Sector por modo de transporte, es importante gestionar un sistema común de reporte de emisiones, de conocimiento sectorial, donde los datos puedan ser consultados por otros profesionales.
- **Incorporación de la ciencia del clima en la planificación y ejecución del 100% de los proyectos de infraestructura de obra pública:** esta meta es la que involucra el Eje de Fortalecimiento de Capacidad Organizacional y el área estratégica en Gestión y Transferencia de Conocimiento, es decir, es la que motivó la presente investigación sobre la resiliencia climática para el Sector.

En este contexto de nuevos datos y, por tanto, de nueva información, el papel del tercer eje estratégico del Plan de Adaptación Sectorial resulta fundamental. Este eje requiere fortalecer la estructura organizacional bajo un enfoque de gestión del cambio, orientado de manera distinta y basado en la búsqueda de interoperabilidad, cocreación y cooperación para la construcción de los datos que se necesitarán a futuro. Todo ello se plantea

en función de garantizar una continuidad a largo plazo que contribuya al blindaje climático y a la gestión del riesgo y de los desastres del Sector.

Otro aporte del Sector en materia ambiental es la Política Ambiental de Obras Públicas y Transportes, vigente desde inicios de 2023. Esta política enmarca una visión integral del quehacer institucional e incorpora la ciencia del clima en sus acciones. Se destacan tres objetivos relacionados con el cambio climático: 1) promover el transporte público, que, entre otros aspectos, contribuya a mitigar la emisión de gases de efecto invernadero; 2) impulsar un mayor uso de tecnologías de información e innovación para reducir los costos de transporte y aumentar la seguridad física de la carga y de las personas; y 3) fomentar el desarrollo de infraestructura resiliente bajo un enfoque de reducción del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático.

A su vez, la Política plantea seis ejes estratégicos transversales, dos de los cuales se relacionan con el tema de investigación:

- **Gestión para Resultados y Tecnologías de la Información.** El modelo propuesto busca priorizar y definir los insumos, actividades y productos más adecuados, empleando tecnologías de la información que permitan administrar y gestionar bases de datos geoespaciales útiles para todas las instituciones. Estas herramientas deben facilitar la provisión transparente de información sobre propuestas, proyectos de infraestructura y sistemas de transporte.
- **Resiliencia y mitigación por cambio climático.** Se plantea valorar los principales riesgos de desastres que pueden afectar las infraestructuras, fortaleciendo y promoviendo la gestión del riesgo de desastres en coordinación con la CNE.

Además, se establecen diversos principios vinculados con la gestión de la información dirigida a la ciudadanía. Por un lado, el principio de **Transparencia**, que promueve el acceso, la publicación y la difusión de la información. Por otro lado, el principio denominado **Adaptación y Generación de Resiliencia**, que establece la planificación y la toma de acciones a partir del aprendizaje y la mejora continua, aplicando resiliencia y resistencia para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse ante un impacto o efecto negativo. Así, se garantiza la recuperación operativa de las instituciones y la funcionalidad de los servicios que estas prestan.

Aunado a lo anterior, el Sector mantiene compromisos en diversas políticas públicas relacionadas con el cambio climático y la gestión del riesgo (Figura 13). Asimismo, cuenta con compromisos internacionales en el marco de la Contribución Nacional Determinada (NDC), mediante la cual el país procura transformar su sistema de infraestructura hacia uno más resiliente, sostenible, eficiente y con una baja huella de carbono (MOPT, 2022).



Fuente: Elaboración propia (2025)

Todo lo anterior refuerza la importancia de ejecutar las acciones necesarias para cumplir con el objetivo 12° del Plan de Adaptación del Sector (PAMCCSIT), orientado a “generar el conocimiento y la capacidad técnica requerida para una incorporación óptima de la ciencia del clima en los proyectos de infraestructura de obra pública”. La acción 28 de este objetivo plantea la “creación de un laboratorio de resiliencia climática para la gestión del conocimiento y la promoción de la innovación en cambio climático”. Este estudio prospectivo se fortalece al profundizar en los recursos actuales del Sector y en las posibilidades de trabajo futuro para alcanzar las metas en materia de gestión del conocimiento.

Dentro del Sector, existen procesos institucionales que, por sus funciones diarias, interactúan de manera directa con la atención primaria de emergencias. Estos procesos deben mencionarse para contextualizar la gestión del conocimiento en resiliencia climática que se busca impulsar. También resulta pertinente identificar las Direcciones Técnicas que, por la naturaleza de sus funciones, generan datos o consumen los de otras entidades para efectuar análisis e investigación territorial. Dichas variables pueden ser vinculantes en la construcción de conocimiento para la gestión del riesgo, los desastres y la resiliencia climática del Sector.

Conformación del Sector Obras Públicas y Transportes

Según el Reglamento Orgánico de cada Administración de Gobierno, en el Decreto Ejecutivo N°43580-MP-PLAN, del 1° de junio del 2022⁴, el Sector de Obras Públicas y Transporte en Costa Rica está conformado por las siguientes instancias:

- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y sus órganos desconcentrados: Consejo de Seguridad Vial (COSEVI), Consejo de Transporte Público (CTP), Consejo Nacional de Concesiones (CNC), Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), Consejo Técnico de Aviación Civil (CETAC) y Tribunal Administrativo de Transporte.
- Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER).
- Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (INCOP).
- Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA).

La misión del Sector es consolidarse como el ente encargado de desarrollar, en alianza con otros sectores de la sociedad y de forma integral, la infraestructura y los servicios de transporte intermodal. Este enfoque garantiza el desplazamiento seguro, eficiente y de calidad de personas y mercancías. Además, propicia el desarrollo sostenible y contempla la resiliencia de las infraestructuras, así como la competitividad del país (SPS, 2023). Se reconoce que el desarrollo propuesto se alcanza mediante alianzas intersectoriales orientadas a un enfoque sostenible. El Ministro del Ministerio de Obras Públicas y Transportes se establece como la autoridad rectora del Sector.

Según la Ley 3155, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, se encarga de la planificación, construcción y mantenimiento de los caminos y carreteras de la red vial nacional. También, administra los aeropuertos nacionales y sus anexidades, los puertos de altura y cabotaje, las vías y terminales de navegación interior, los sistemas de transbordadores y el transporte por ferrocarril y tranvía. Asimismo, gestiona el transporte de mercancías a granel y cualquier otra modalidad de transporte del país. Sus funciones incluyen construir, mejorar y mantener las edificaciones y demás obra pública, así como velar por su uso adecuado.

⁴ El 21 de febrero del 2023, en decreto ejecutivo N°43917-MP-PLAN, se modifica el artículo 7 - De los Sectores Estratégicos Gubernamentales del decreto N°43580-MP-PLAN, lo que provoca que el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (ICAA) sea parte del Sector; sin embargo, no se consideró en esta investigación, porque históricamente no ha sido parte de este y su enfoque no son los servicios de transporte.

A continuación, se describe la función primordial de los órganos desconcentrados incluidos en el Sector, según la normativa vigente y su misión:

- **Consejo de Seguridad Vial (COSEVI):** institución rectora en materia de Seguridad Vial, creado mediante la Ley de Administración Vial, Ley 6324, publicada el 24 de mayo de 1979, con independencia en su funcionamiento administrativo y personalidad jurídica propia. Además de rectora, es gestora de la seguridad vial y movilidad activa. Tiene como fin la mejora de la movilidad segura, saludable y sostenible en carreteras de los usuarios del sistema de infraestructura y transporte del país (COSEVI, 2025).
- **Consejo de Transporte Público (CTP):** se crea a partir de La Ley Reguladora del Servicio Público de Transporte Remunerado de Personas N° 7969 y sus reformas, publicada el 28 de enero del 2000. El CTP es un órgano de desconcentración máxima del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, cuya misión es ser una institución especializada en materia de transporte público terrestre (CTP, 2025).
- **Concejo Nacional de Concesiones (CNC):** tiene su fundamento en la Ley General de Concesión de Obras Públicas con servicios públicos N 7762, publicada el 22 de mayo de 1998. Cuenta con desconcentración máxima, es sin fines de lucro. Además, goza de personería jurídica instrumental a efectos de identificar, promocionar, formular, llevar adelante los procesos licitatorios y, de ser necesario, administrar los contratos de los proyectos de concesión de obra pública. Su misión es “propiciar infraestructura y servicios públicos de calidad, a través de esquemas de alianza público-privada; con el propósito de impactar positivamente en la economía nacional y la calidad de vida de los habitantes de Costa Rica” (CNC, 2025).
- **Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI):** se crea con la Ley 7798, publicada el 29 de mayo de 1998. En su artículo 3 se determina su “personalidad jurídica instrumental y presupuestaria para administrar el fondo de la red vial nacional, así como para suscribir los contratos y empréstitos necesarios para el ejercicio de sus funciones, de conformidad con la presente ley”. Sus prioridades según artículo 22, la conservación, mantenimiento rutinario o periódico, mejoramiento, rehabilitación y construcción de obras viales nuevas en la red vial nacional.
- **Consejo Técnico de Aviación Civil (CETAC):** en la Ley General de Aviación Civil N°5150 del 14 de mayo de 1973 y sus reformas, en su artículo 2 indica que la regulación de la aviación civil será ejercida por el Poder Ejecutivo a través del CETAC. Este órgano desconcentrado goza de personalidad jurídica instrumental referida al manejo de los fondos provenientes de esta ley y para realizar los actos o contratos necesarios en cumplimiento de las funciones dadas y la Dirección General de Aviación Civil. Su misión es “Planificar, regular y proveer los servicios de la aviación civil de Costa Rica de forma ágil y transparente para garantizar y promover una actividad aeronáutica ordenada, eficiente, respetuosa con el medio ambiente, de calidad y segura que garantice la satisfacción de los usuarios y los intereses de la sociedad” (DGAC, 2025).
- **Tribunal Administrativo de Transporte:** también creado por la Ley N° 7969, es el órgano jerárquico impropio del Consejo del Transporte Público, el cual, por medio de su Junta Directiva, emite acuerdos que conocen los recursos de revocatoria interpuestos por los empresarios del transporte público. Además, cuenta con desconcentración máxima del MOPT y con personería jurídica instrumental. En su misión establece que proporcionan “justicia administrativa y seguridad jurídica al servicio público del transporte remunerado de personas en el país, mediante el conocimiento y resolución ágil y efectiva, de los recursos de apelación y gestiones accesorias, interpuestos por los administrados que consideren lesionados sus derechos por los actos o resoluciones del Consejo de Transporte Público; y estableciendo las indemnizaciones que fueran procedentes” (TAT, 2025).

Respecto a las instituciones descentralizadas que forman parte del Sector, se indican:

- **Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER):** creación por Ley 7001 del 19 de setiembre de 1985, como una “institución de derecho público, con autonomía administrativa, personalidad jurídica y patrimonio propio”. Posteriormente el 7 de junio de 2016, se aprueba en la Asamblea Legislativa la nueva Ley 9366 “Fortalecimiento del Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER) y Promoción del Tren Eléctrico Interurbano de la Gran Área Metropolitana”, que redefine su objetivo como la “administración de un moderno sistema de transporte ferroviario para el servicio de pasajeros y de carga en todo el territorio nacional. Además, podrá prestar servicios conexos con el citado sistema y desarrollar otras inversiones y obras de infraestructura en inmuebles de su propiedad”.
- **Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (INCOP):** la Ley N°4964 del 21 de marzo de 1972 y sus reformas crea el INCOP, con funciones de autoridad portuaria en sustitución del Instituto Autónomo del Ferrocarril Eléctrico al Pacífico. En el artículo 1 se indica que tiene autonomía administrativa, personería jurídica y patrimonio propios. Su principal objetivo fortalecer la economía del país
- **Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA):** mediante la Ley Orgánica de JAPDEVA (Junta Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica) N°3091 y sus reformas.

A nivel ministerial, se cuenta con la Secretaría de Planificación Sectorial (SPS), encargada de asesorar al Ministro Rector y al Consejo Nacional Sectorial según el Decreto Ejecutivo 39173-MOPT. En el marco de esta investigación, resulta pertinente destacarla por su función en la creación de datos, la transferencia de conocimiento y la asesoría técnica para todo el Sector. La SPS asume funciones relevantes vinculadas con el tema de estudio, especialmente en la gestión de sistemas de información relacionados con el registro de la red vial nacional y cantonal. Asimismo, participa en los procesos de transferencia de conocimiento para la toma oportuna de decisiones. No obstante, no mantiene una relación directa con la gestión del riesgo.

La SPS cuenta con varios procesos integrales que trabajan en dar apoyo a las instituciones del Sector: Proceso Estratégico Multimodal de Servicios de Transporte (PEMIST), Proceso Gestión Ambiental Sostenible (PROGAS); Proceso de Planes y Proyectos, Proceso de Gestión de Información y Transferencia de Conocimiento y Proceso Gestión para el Financiamiento de Proyectos.

El PEMIST se encarga de realizar análisis e investigaciones con información relevante para el Sector. Por esta razón, requiere contar con datos actualizados y construir información útil para la planificación estratégica multimodal. Entre sus herramientas se encuentra el Sistema de Información Geográfica, que permite disponer y administrar los datos actualizados de la red vial nacional, así como información de la red vial cantonal según sus competencias. Además, cuenta con el Sistema del Registro Vial de Costa Rica, establecido en la Ley General de Caminos Públicos N° 5060 y sus reformas, en la Ley de Simplificación y Eficiencia Tributaria N° 8114 y en el Decreto N° 37908-MOPT.

Respecto al proceso enfocado a la parte ambiental, PROGAS es un equipo multidisciplinario conformado por las áreas del conocimiento en biología, sociología, ingeniería forestal e ingeniería civil. Se encargan de asesorar y verificar la incorporación de la viabilidad ambiental y componente social en los proyectos de infraestructura del Sector, según lo estipula en cada etapa del ciclo de vida del proyecto, dando el acompañamiento y asesoría respectiva.

En cuanto a la función de gestionar la transferencia de conocimiento, se ejecutan labores de identificación y recopilación del patrimonio bibliográfico sectorial. También se reúne información técnica elaborada por instituciones nacionales e internacionales vinculadas con temas de interés para el Sector. Esta información se

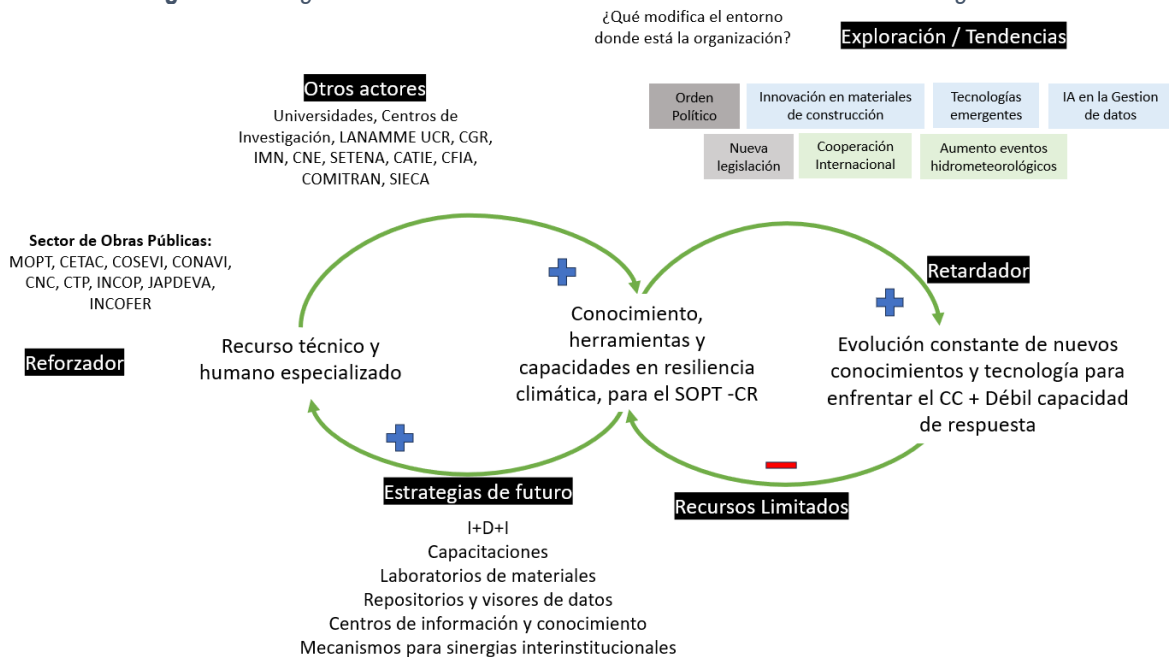
Análisis conceptual de la dinámica del objeto de estudio (sistema)

La dinámica de sistemas en la que se ubica el objeto de estudio —Sector de Obras Públicas y Transporte— se plantea dentro del ámbito de la gestión del conocimiento. El proceso inicia con la pregunta ¿qué conocimientos, herramientas y capacidades se requerirán a futuro para una incorporación óptima de la ciencia del clima en el Sector Obras Públicas y Transportes de Costa Rica?

Al aplicar el Diagrama de Forrester, la pregunta se convierte en el eje de desarrollo de la dinámica del sistema. Se establece como valor público el “Conocimiento, herramientas y capacidades en resiliencia al cambio climático para las obras públicas de transporte en Costa Rica” (Figura 15). Este valor se mantiene vigente incluso en entornos cambiantes, ya que enfrentar el cambio climático requiere contar con conocimiento actualizado, herramientas especializadas y capacidades técnicas fortalecidas. Por lo tanto, representa un reto permanente para el Sector, el cual debe mantenerse al tanto de los procesos de innovación constante.

Dentro de esta dinámica existen dos flujos. El primero es el reforzador, impulsado por el recurso técnico y humano especializado. Este flujo depende del sujeto de estudio, es decir, de todo el recurso con el que cuenta el Sector para atender la gestión del conocimiento, incluyendo herramientas, equipos, laboratorios, programas, tecnología, procesos y profesionales. Conforme aumenta la calidad de este recurso, se sostiene la meta del valor público. No obstante, para garantizar dicha calidad, el Sector debe establecer estrategias que permitan alcanzarla. Estas acciones se encuentran supeditadas a la disponibilidad de inversión en operación, por ejemplo, capacitaciones, promoción de la innovación, procesos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+I), repositorios de datos e información, laboratorios, lineamientos y procesos de transferencia de conocimiento, así como apoyos derivados de mecanismos de cooperación y sinergias interinstitucionales.

Figura 15. Diagrama de Forester de la dinámica de sistemas de esta investigación



Fuente: Elaboración propia (2025)

Dentro de las estrategias disponibles para aumentar la calidad del recurso humano y técnico se incluyen aquellas desarrolladas fuera del Sector. Aunque no se ejerce injerencia directa sobre ellas, forman parte del

entorno del sistema e influyen en su comportamiento. Entre estas acciones se encuentran capacitaciones, seminarios, talleres, charlas e investigaciones generadas por la academia (UCR, UNA, LANAMMEUCR, CATIE, IMARES, CIMAR, SINAMOT), por instituciones nacionales (CFIA, CNE, IMN, MINAE, entre otras) y por organismos internacionales (SIECA, COMITRAN, AREMA, EADIC, entre otros).

El segundo bucle corresponde al flujo retardador. La meta del valor público se ve afectada en la medida en que este flujo aumenta. Se denomina “Evolución constante de nuevos conocimientos, herramientas y tecnología para enfrentar el cambio climático”. El Sector requiere conocimiento actualizado y capacidades técnicas en resiliencia climática; sin embargo, el Estado cuenta con recursos limitados que pueden dificultar la adquisición de tecnología de punta o la generación de nuevas capacidades. Esto provoca que el Sector mantenga o amplíe brechas en conocimiento, herramientas y capacidades (Figura 15).

Fuera del sistema existen megatendencias y tendencias que influyen y generan líneas de fuerza a nivel global. Estas producen rupturas y modifican la dinámica del sistema, por lo que deben considerarse en la formulación y aplicación de políticas públicas, por ejemplo: nuevas tecnologías, fondos de bonos verdes e innovación en materiales sostenibles de construcción. Asimismo, el entorno incluye señales débiles que pueden transformar el sistema y generar movimientos que obligan a prever y anticiparse a los cambios.

En el ámbito de los conocimientos, herramientas y capacidades en resiliencia al cambio climático, resulta fundamental contextualizar conceptos clave que deben incorporarse en la dinámica del sistema, tales como gestión del conocimiento, gestión tecnológica del conocimiento e innovación en la función pública.

En la dinámica del objeto de estudio también debe considerarse el problema identificado en 2019 en el MOPT como parte de la elaboración del Plan Estratégico Institucional acerca de la “débil gestión institucional que condiciona la adecuada prestación de los bienes y servicios, que por competencia se debe brindar a los ciudadanos”; en consecuencia, para el PEI 2020-2025 se planteó la siguiente estrategia “Orientar y mejorar la gestión del MOPT mediante la implementación de una planificación estratégica fundamentada en el desarrollo de procesos institucionales para la consecución de productos y servicios que generen valor público y un mayor impacto sobre el ciudadano, con estándares de calidad e innovación, y el desarrollo de capacidades del talento humano, fomentando la participación de la ciudadanía, que contribuya a alcanzar los objetivos estratégicos definidos en procura de bienestar de los usuarios”.

En este periodo, el Sector público cuenta con la Política de Innovación del Sector 2022-2025, la cual parte de la premisa de que la innovación constituye “un producto o proceso nuevo o mejorado que se diferencia de productos o procesos anteriores y que ha sido puesto a disposición de los usuarios potenciales”. En este caso, la aplicación del método prospectivo para planificar el futuro de la gestión del conocimiento en resiliencia climática del Sector se plantea como una iniciativa innovadora orientada a definir escenarios de futuro para la acción 28 del PAMCCSIT.

La importancia del Sector en el desarrollo del país es fundamental. La Política señala que este ámbito “incide de forma directa en la competitividad del país, pues al presentar rezagos en la infraestructura de transporte, impacta en el entorno macroeconómico nacional y, por ende, en la productividad del país”. Por lo tanto, la innovación, como parte de la gestión del conocimiento en el ámbito económico, constituye una estrategia para mejorar dicha competitividad.

En Costa Rica, la gestión del conocimiento es un componente clave de la gestión de riesgos y desastres. Por esta razón, es uno de los ejes de la Política Nacional de Gestión de Riesgos (PNGR) 2016-2030 bajo el nombre de “Educación, gestión del conocimiento e innovación”. Este eje busca “fortalecer la generación de conocimiento, pasando de la creación de bases de datos e informes que describen la amenaza y la vulnerabilidad, hacia métodos y tecnologías de modelación matemática, tanto probabilísticas como determinísticas, que permitan conocer e interpretar el riesgo... considerando que el conocimiento sobre riesgo

debe ser de dominio público; ello con el fin de generar sabiduría, de reducir la incertidumbre en la toma de decisiones por parte de todas las personas y promover una cultura resiliente” (CNE, 2015, p. 45).

De esta forma, se reconoce la información y el conocimiento como ejes medulares en la gestión del riesgo y desastres. Se hace énfasis en evolucionar desde la acumulación de datos hacia su interpretación y gestión. En el V Congreso de Gestión de Riesgo y Desastres y Adaptación al Cambio Climático 2022, los expertos invitados coincidieron en que, desde la perspectiva científica, existe un déficit de información para administrar los datos y apoyar la toma de decisiones. Destacaron la necesidad de generar capacidades para enfrentar el riesgo mediante una gestión de datos diferente, que brinde disponibilidad y accesibilidad de la información a la ciudadanía por medio de canales adecuados, con el fin de potenciar el conocimiento y las capacidades para enfrentar los riesgos hidrometeorológicos intensificados por el cambio climático.

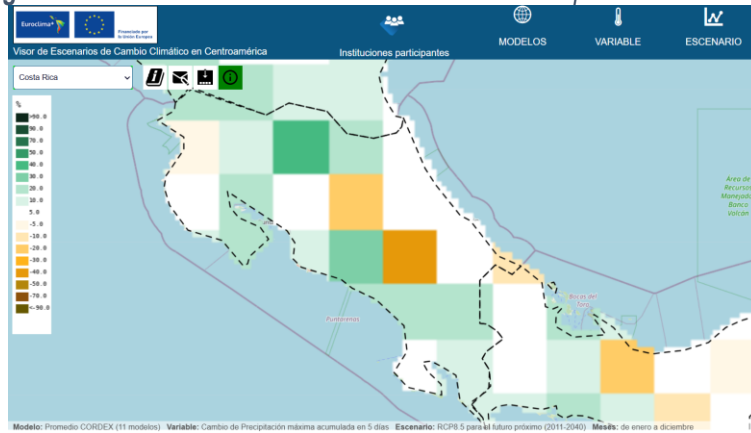
Para avanzar hacia una adecuada gestión del riesgo y desastres, la forma en que se dispone el conocimiento resulta esencial. En consecuencia, se debe considerar la estructura básica de agregación de valor de los datos para avanzar hacia un conocimiento inteligente. No basta con la acumulación de datos; es necesario potenciar la información y alcanzar la fase de inteligencia de los datos, la cual es fundamental para la toma de decisiones y constituye el resultado de un proceso aplicado a los datos, la información y el conocimiento.

María del Rocío Sáenz, exministra de Salud de Costa Rica en el periodo 2002-2006 e invitada al V Congreso de Gestión de Riesgo y Desastres y Adaptación al Cambio Climático 2022, abordó la pregunta acerca de quiénes deben tener acceso a la información. Señaló que la generación de conocimiento requiere revisarse y analizarse desde interrogantes fundamentales, como ¿dónde se está generando?, ¿quiénes experimentan los conceptos de riesgo y desastre?, ¿desde qué condiciones los viven?, ¿cuáles son las capacidades instaladas? y ¿cuál es el nivel de información disponible para comprender esa dimensionalidad? Subrayó que la información y el conocimiento deben estar al alcance de la ciudadanía. Asimismo, destacó que la institucionalidad pública, como generadora de datos, debe desarrollar capacidades, producir información y conocimiento y garantizar su difusión mediante canales accesibles para todas las personas, especialmente para aquellas que conviven con riesgos y desastres.

La gestión del conocimiento para la resiliencia climática requiere datos climáticos territorializados que permitan planificar infraestructuras resilientes. Hasta hace pocos años, el país no contaba con información accesible para visualizar escenarios climáticos y planificar de manera más adecuada la obra de infraestructura y las inversiones en otros sectores económicos.

Recientemente, los países de Centroamérica disponen del Visor de Escenarios de Cambio Climático (Figura 16), herramienta que permite visualizar y descargar datos relativos al clima futuro. El portal ofrece información interactiva que posibilita seleccionar modelos, variables y escenarios. Los datos provienen de dos fuentes: proyecciones regionalizadas basadas en métodos estadísticos desarrollados en el proyecto “Escenarios regionalizados para Centroamérica” del programa EUROCLIMA+ y proyecciones regionalizadas basadas en métodos dinámicos procedentes de la iniciativa CORDEX. Se presentan escenarios para los años 2030, 2050 y 2070. Aunque la escala y el nivel de detalle no son los óptimos, constituye un avance contar con un medio que facilite el acceso a información climática. Se espera que la escala mejore en el futuro, considerando que el país posee microclimas y una topografía irregular que demandan escenarios climáticos con mayor resolución.

Figura 16. Extracto del Visor de Escenarios Climáticos para Centroamérica



Fuente: Programa EUROCLIMA (2024).

La herramienta fue divulgada por el IMN a las instituciones del país en 2025. Se trata de un visor sujeto a mejora continua según las necesidades de los usuarios y las posibilidades técnicas disponibles.

Con el fin de contextualizar al Sector en materia de gestión del conocimiento y considerando la hélice a nivel organizacional, se aborda su descripción en tres dimensiones: Procesos, Capital Humano y Capital Tecnológico (generación de datos y sistemas). En esta línea, resulta relevante describir el quehacer científico y técnico, especialmente en aquellos ámbitos que desempeñan un papel importante en la atención primaria de emergencias. Esta atención constituye la primera respuesta ante situaciones que requieren habilitar la infraestructura de transporte, en todas sus modalidades, para garantizar la continuidad del servicio en los distintos sectores económicos del país.

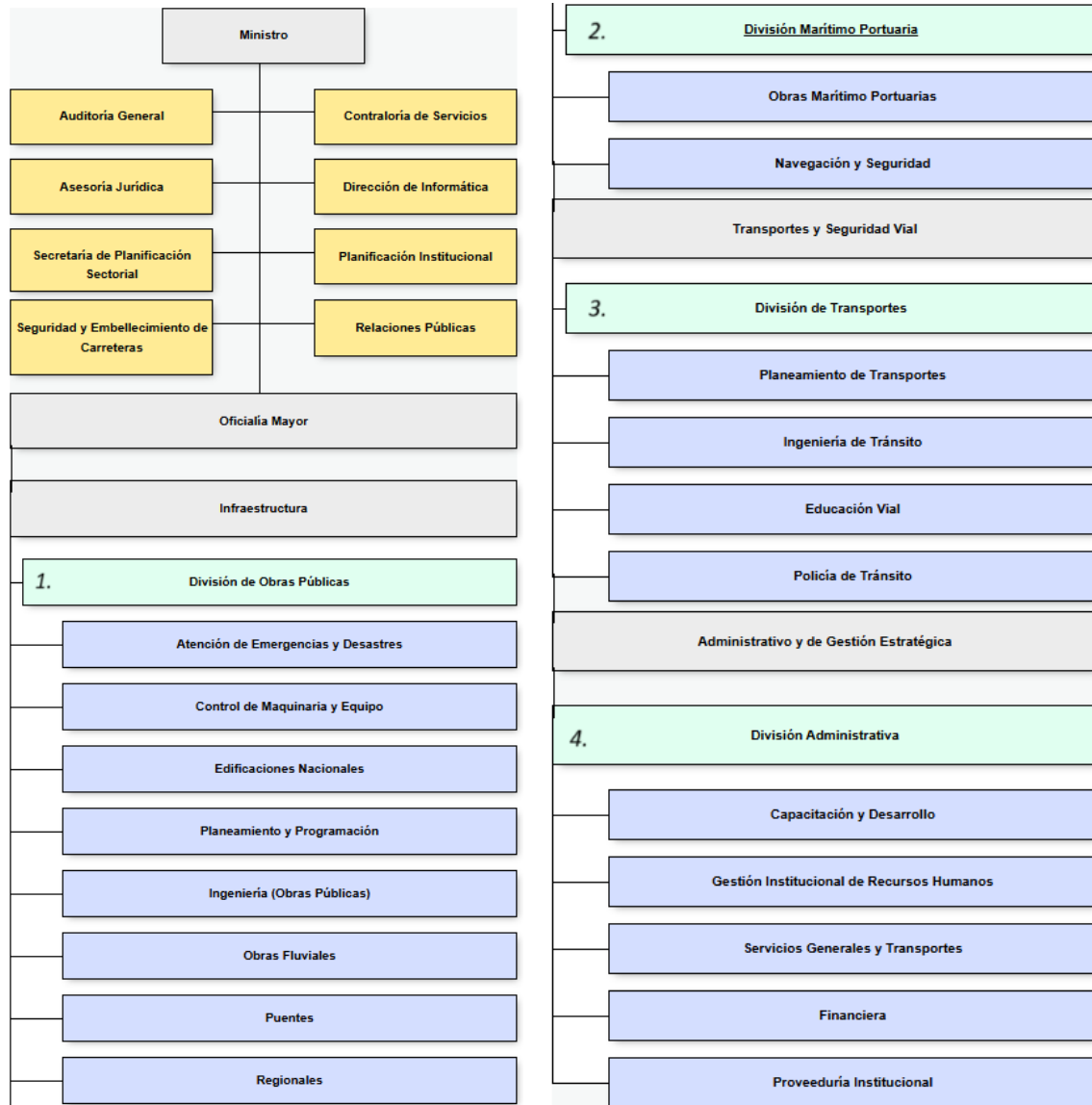
La descripción de los tres ámbitos de la hélice permite identificar los recursos de conocimiento tácito y explícito con los que cuenta el Sector. Asimismo, evidencia los recursos que potencialmente pueden contribuir a la resiliencia climática y facilitar el cumplimiento del objetivo orientado a la incorporación óptima de la ciencia del clima en los proyectos de infraestructura de obra pública, tal como lo establece el Plan de Adaptación del Sector.

Procesos técnicos-científicos en la infraestructura de transporte del país a lo interno del MOPT

El Viceministerio de Infraestructura cuenta con procesos estratégicos en la gestión de obra pública. Las Direcciones Técnicas de las Divisiones que lo conforman desempeñan funciones de gran relevancia tanto a nivel interno del Ministerio como en el apoyo a otras entidades del Sector y demás instituciones públicas. Estas Direcciones reúnen profesionales especializados cuyo conocimiento constituye un capital tácito fundamental. El Viceministerio se organiza en dos Divisiones: Obras Públicas y Marino-Portuaria. La primera está integrada por ocho Direcciones y la segunda por dos (Figura 17).

En materia de atención de emergencias, el Ministerio participa en la red de atención primaria del país, donde resulta especialmente relevante el trabajo de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito. Esta Dirección es responsable de gestionar el tránsito vehicular para garantizar la seguridad vial. Su recurso humano constituye un elemento vital dentro de la red de articulación para la atención primaria en la que participa el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y se detalla más adelante.

Figura 17. Organigrama del Ministerio de Obras Públicas y Transportes



Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transporte (2025).

División de Obras Públicas

La División planifica, construye, mantiene y mejora las carreteras de la red vial nacional, previa coordinación con el CONAVI. También, aprueba o rechaza las solicitudes de materiales e insumos presentadas por las municipalidades para la construcción o mantenimiento de la red vial cantonal, mediante la rectoría técnica en materia de infraestructura vial. A su vez, coordina con la Unidad de Planificación Institucional el asesoramiento sobre aspectos ambientales en los proyectos desarrollados por la División.

Como parte de sus acciones, emite normas, procedimientos y recomendaciones para la regulación de la infraestructura vial, con el fin de garantizar la calidad del servicio, la seguridad y el cumplimiento de estándares acordes con la vialidad del país.

Esta División dispone de una amplia diversidad de profesionales con conocimiento técnico especializado para la prestación de servicios en diseño de pavimentos, carreteras y puentes. Brinda servicios de topografía y geotecnia, así como servicios de acarreo de materiales, movimiento de tierra y compactación de suelos para la construcción de obras viales y fluviales, previa realización de estudios de factibilidad. Asimismo, cuenta con una flotilla básica de maquinaria y equipo que permite atender regionalmente situaciones de emergencia, estudios especializados y proyectos de interés nacional (MOPT-DOP, s. f.).

La División cuenta con una Dirección de Atención de Emergencias y Desastres, encargada de brindar una respuesta oportuna en la atención primaria de emergencias y desastres. También coordina con la Comisión Nacional de Emergencias los eventos relacionados con la prevención y atención de situaciones de emergencia. Asimismo, facilita asesoría en esta materia a las demás dependencias del MOPT y a los Concejos, y proporciona los instrumentos necesarios para que el Ministerio responda adecuadamente ante emergencias y desastres. Mantiene comunicación e intercambio de información entre las Direcciones de la División de Obras Públicas y la CNE.

Esta Dirección organiza y planifica las acciones de preparación y atención de emergencias, además de ejecutar otras funciones que garanticen información oportuna al personal y a los usuarios. Para ello cuenta con el Protocolo Institucional: Vigilancia y Control de la Red Vial Nacional (RVN) ante Sucesos y Emergencias Naturales, que describe las actividades que deben ejecutar las personas funcionarias del MOPT y del CONAVI ante situaciones de riesgo por eventos naturales que impacten la red vial nacional.

El protocolo establece que, en casos de sismos, el personal del MOPT y del CONAVI debe mantenerse alerta respecto a las comunicaciones emitidas por la CNE, el OVSICORI y otras instituciones competentes. También menciona la participación activa de los oficiales de la Dirección General de la Policía de Tránsito (DGPT) en el monitoreo visual, así como la del personal ingeniero del CONAVI o de empresas contratadas, quienes realizan inspecciones rutinarias, monitorean el estado de la vía y elaboran los informes correspondientes cuando se presentan desprendimientos de material. Se destaca además la labor de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito (DGIT), encargada de acudir a la zona afectada para colocar señales preventivas y retirarlas posteriormente. Esta labor requiere una coordinación estrecha con las Direcciones Regionales de Obras Públicas para trabajar conjuntamente con el CONAVI en la inspección del sitio donde ocurre o puede ocurrir la emergencia (MOPT, 2023).

La Dirección de Ingeniería en Obras Públicas establece controles de calidad en la supervisión de los materiales utilizados en las obras a cargo del MOPT. También realiza estudios específicos de suelos y materiales, desarrolla investigaciones para introducir nuevos métodos constructivos y reducir costos, y mejora la calidad de las obras. Está a cargo de los estudios, diseños y confección de planos para la construcción, rehabilitación o mejoramiento de carreteras y caminos en la red vial cantonal. Además, según sus posibilidades, atiende solicitudes para la prestación de servicios de diseño de carreteras o puentes, topografía, laboratorio, geotecnia y diseño de pavimentos para comunidades o instituciones gubernamentales (MOPT-DI, s. f.).

Esta Dirección cuenta con la Subdirección de Geotecnia, donde se ubica el Laboratorio de Suelos y Pavimentos. En este laboratorio se realizan estudios de: a) pinturas para demarcación horizontal de carreteras en colores amarillo y blanco; b) agregados y concretos, mezclas asfálticas y emulsiones; y c) suelos, bases y estabilizaciones. El laboratorio del MOPT cumple además una función de verificación en las obras contratadas, dando seguimiento a lo establecido en los carteles de licitación según sus competencias.

La Subdirección de Geotecnia brinda apoyo a otras Direcciones del Ministerio y a entidades del Sector mediante conocimiento geológico, estudios y análisis de suelos. Entre sus colaboraciones se incluyen el apoyo a la Dirección de Atención de Emergencias y Desastres ante la ocurrencia de riesgos o desastres, y la asistencia técnica al CONAVI en rutas afectadas por deslizamientos. Asimismo, contribuye con la Dirección de Puentes en estudios de suelos y perforaciones, y con la Dirección de Edificaciones en análisis geotécnicos. Incluso

apoya a la División de Obras Marítimo-Portuarias cuando es requerido. En cuanto al trabajo con las Direcciones Regionales, este se orienta entre otras razones a la atención de trámites en fuentes de material, en coordinación con la Dirección de Geología y Minas.

La Dirección de Obras Fluviales se encarga de la prevención, mantenimiento y protección de los cauces fluviales para evitar inundaciones. Ejecuta la construcción, el mejoramiento y el mantenimiento de obras fluviales por administración o por contrato, con el fin de proteger la vida humana. También realiza los estudios necesarios para el diseño, la evaluación, el planeamiento y la elaboración de planos para obras fluviales. Además, desarrolla estudios hidrológicos mediante simulaciones con programas especializados, como HEC-RAS, para el análisis de cuencas. Para estos análisis requiere datos proporcionados por otras instituciones (MOPT-DOF, s. f.).

A nivel preventivo, se trabaja en el proceso de mantenimiento para brindar capacidad hidráulica al cauce, siguiendo la normativa estipulada. Además, se cuenta con la identificación de los ríos con mayor recurrencia de desbordamiento, sobre los cuales se realiza un seguimiento anual mediante el mantenimiento de diques, el reforzamiento de riberas u otras acciones. La Dirección dispone de maquinaria y conocimiento técnico para apoyar a las municipalidades en labores de dragado y contención. También brinda atención a comunidades para gestionar el riesgo, en coordinación con la Dirección de Atención de Emergencias y Desastres del MOPT. Estas acciones son fundamentales dentro del marco de atención de emergencias, en coordinación con la CNE y otras acciones preventivas, siempre siguiendo las restricciones establecidas por la Dirección de Aguas del MINAE, las cuales aplican únicamente en zonas declaradas en emergencia.

La Dirección de Obras Fluviales actúa como Unidad Ejecutora de la Comisión Nacional de Emergencias ante los primeros impactos de una emergencia. Asimismo, ha brindado asesoría técnica a diversas instituciones públicas ante riesgos asociados con inundaciones o deslizamientos en los cauces fluviales, cuando corresponde.

La Dirección de Puentes colabora, según solicitud de las autoridades superiores, con otras instituciones en la elaboración de anteproyectos, diseños y planos constructivos de puentes, así como en asesorías técnicas para su formulación, diseño y construcción. También realiza labores de inspección de puentes en situaciones de emergencia o urgencia, cuando así lo solicitan los superiores, con el fin de garantizar la transitabilidad requerida para la prestación de servicios públicos mediante la conectividad territorial. Esta Dirección contribuye con el Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP), brindando asesoría sobre puentes con deficiencias o prioridades de intervención. Asimismo, colabora con el CTP mediante aval técnico para la autorización de permisos de circulación de carga de excepción.

Las Direcciones Regionales de Obras Públicas se distribuyen el territorio nacional en once regiones. Coordinan con el CONAVI los trabajos de construcción, rehabilitación, mantenimiento y mejoramiento de la red vial nacional u otras obras civiles. Participan en la atención de emergencias y desastres, así como en otras labores de fuerza mayor. Además, brindan asesoría a las municipalidades en la aplicación de las normas técnicas emitidas por la Dirección de Ingeniería (MOPT-DR, s. f.).

División de Obras Marino Portuaria

La División ejerce la rectoría del Sector Transporte en el ámbito marítimo-portuario. En consecuencia, se encarga, entre otras funciones, de velar por la seguridad de la navegación, la protección de la vida en el mar y la captación de cargas y servicios, en cumplimiento de las políticas para el desarrollo marítimo-portuario conforme con los intereses del país, los tratados y los convenios internacionales aplicables. Estas labores implican promover relaciones con organismos internacionales y regionales vinculados con esta actividad. Además, emite recomendaciones para las tarifas de transporte de carga o vehículos en rutas de cabotaje y gestiona el otorgamiento de concesiones y permisos para la explotación de rutas de servicio en cabotaje.

Asimismo, la División debe mantener un registro marítimo-portuario actualizado y proponer normas técnicas y procedimientos para el diseño, la construcción, el mejoramiento y el mantenimiento de los puertos, así como para los aspectos relacionados con la seguridad y la explotación del transporte acuático (MOPT-DMP, s. f.).

La Dirección Marítimo-Portuaria es la responsable de aprobar los estudios de terminales de cabotaje, obras de protección costera, salvamento y dragados. También aprueba anteproyectos y proyectos de construcción de marinas y atracaderos turísticos para la CIMAT (Comisión Interinstitucional de Marinas y Atracaderos Turísticos). Por su rectoría y capacidad técnica, brinda asesoría en su ámbito a todas las dependencias del MOPT, a los entes del Sector y a otras instituciones, como el INCOP y la JAPDEVA, mediante acompañamiento técnico en temas de dinámica costera. Asimismo, colabora con las municipalidades, especialmente aquellas que poseen ambientes costeros o ríos navegables.

Por su parte, la Dirección de Navegación y Seguridad vela por la seguridad de la navegación en los medios acuáticos, tanto para buques nacionales como internacionales ubicados en aguas jurisdiccionales. También le corresponde aprobar los planes locales de contingencia para la prevención de contaminación por derrames de hidrocarburos o sustancias nocivas y peligrosas (MOPT-DNS, s. f.).

Enfoque en gestión de conocimiento en los planes estratégicos institucionales del Sector Obras Públicas y Transportes

En este análisis se exploró el enfoque en capital de conocimiento, tecnológico y humano identificado en los planes estratégicos institucionales, con el fin de determinar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas presentes en este ámbito. La revisión de estos documentos permitió identificar si cada entidad incorpora o no elementos relacionados con la resiliencia climática o con la gestión del riesgo y desastres.

Ministerio de Obras Públicas

La misión del MOPT, señalada en el PEI (2020), es ser la institución que “gestiona, regula y controla las obras de infraestructura pública y servicios de transporte eficientes, seguros y resilientes para la contribución del desarrollo sostenible del país”. Esta misión resulta fundamental para la ciudadanía y para los sectores económicos, debido al peso que posee la infraestructura de transporte en la competitividad nacional. La productividad y el traslado de mercancías dependen de estos servicios, de ahí la importancia de generar resiliencia en el sistema de transporte.

A partir del Plan Estratégico vigente 2020-2025, el FODA permitió identificar elementos vinculados con la gestión del conocimiento en temas de resiliencia en obras públicas de infraestructura. Entre las amenazas se reconoce la mayor frecuencia de eventos hidrometeorológicos ocasionados por el cambio climático. Como ventaja, se destacan las fortalezas institucionales relacionadas con el personal capacitado y con experiencia en infraestructura de obra pública, así como el recurso tecnológico disponible.

Tabla 16. Extracto del FODA- MOPT Plan Estratégico Institucional 2020

Fortaleza	Oportunidad	Debilidades	Amenazas
Personal con múltiples especialidades y con experiencia en gestión de proyectos con infraestructura. Plataforma tecnológica instalada con facilidad de trámites digitalizados.	Aplicación de avances tecnológicos para obras y servicios.	Inadecuada distribución de recursos.	Desastres naturales en aumento que afectan la infraestructura de transporte.

Fuente: PEI 2020-2025.

Como parte de las acciones planteadas en el PEI, resaltan las siguientes:

- *Plan Institucional de Capacitaciones*, por la oportunidad en la detección de necesidades.
- *Evaluaciones de vulnerabilidad a riesgo de desastres, por tipo de infraestructura en cada área geográfica*, tomando como recurso las Direcciones Regionales. Son una oportunidad para recabar información de sitios vulnerables por riesgo de desastre.
- *Observatorio de datos de infraestructura y transporte*, supone una herramienta de gestión de datos para el Sector y de gran provecho por diferentes tipos de usuarios.

Consejo de Seguridad Vial (COSEVI)

En su Plan Estratégico Institucional 2023-2030, el COSEVI establece su valor público como la “mejora de la movilidad segura, saludable y sostenible en carreteras de los usuarios del sistema de infraestructura y transporte”. Este enfoque se integra en la misión del periodo, en la cual se define al COSEVI como “la organización rectora y gestora de la seguridad vial y movilidad activa del país (...) prestadora de trámites y servicios” (COSEVI, 2023).

La legislación del COSEVI evidencia la relevancia de la generación de estadísticas, en cumplimiento del artículo 223, referido al Sistema de Estadísticas de Accidentes de Tránsito y de Investigación en Materia de Seguridad Vial. Este artículo destaca la importancia de recopilar información relacionada con factores y hechos de tránsito, así como de desarrollar investigaciones que orienten la toma de decisiones en materia de seguridad vial. En línea con ello, las estrategias institucionales incluyen el fortalecimiento de la investigación mediante el “desarrollo de programas, proyectos o acciones de investigación en materia de seguridad vial y movilidad activa con evidencia comprobada”.

Considerando los elementos del FODA establecidos en el PEI y vinculados con esta investigación, resulta pertinente destacar los siguientes:

Tabla 17. Extracto del FODA- COSEVI Plan Estratégico Institucional 2023-2030

Fortaleza	Oportunidad	Debilidades	Amenazas
Posee una infraestructura tecnológica robusta y madura con servicios digitalizados y conectividad con otras instituciones que permite la desconcentración del servicio.	Posibilidad de ampliar los servicios digitalizados que brinda la institución.	Débil integración de las acciones y proyectos que realiza el COSEVI del marco de acción del MOPT.	Restricciones de contratación, creación o reasignación de plazas por políticas de gobierno, que puede ocasionar pérdidas de recurso humano o reducir la capacidad institucional.

Fuente: COSEVI PEI 2023

Consejo de Transporte Público

El periodo del Plan es 2025-2030, en él se indica las áreas clave para el CTP, en la sectorización del transporte público, la mejora de las rutas y frecuencias de los servicios, así como la integración de nuevas tecnologías, apostando a una mayor cantidad de usuarios que permitan mantener el servicio que se brinda, en este sentido el valor público busca precisamente la mejora del servicio de transporte y su impacto social, y asegurar su capacidad de acción, considerando una gestión eficiente de recursos y el uso de la tecnología.

En su planteamiento establece ocho productos relacionados al servicio de transporte público, de los cuales es relevantes mencionar dos: monitoreo y evaluación y tecnologías y herramientas de gestión; para el primero requiere contar con un sistema de monitoreo que evalúe la calidad del servicio en puntualidad, seguridad y otros aspectos claves para el servicio y en el caso del segundo es la implementación de tecnologías que

gestione rutas, horarios, seguridad y eficiencia del sistema de transporte público, todo lo cual se traduce en producción de datos e información.

Tabla 18. Extracto del FODA- CTP Plan Estratégico Institucional 2025-2030

Fortaleza	Oportunidad	Debilidades	Amenazas
Posee sistemas informáticos y procesos sistematizados.	Innovaciones para el aprendizaje y desarrollo de nuevas tecnologías dirigidas a la modernización del transporte público y a la satisfacción de necesidades de usuarios.	Falta de retribución del conocimiento adquirido en capacitaciones (conocimiento no se comparte con compañeros).	Escasez de oferta de capacitación técnica especializada en transporte público.

Fuente: CTP PEI 2025.

Adicionalmente, en el FODA se señala como una debilidad la ausencia de datos en tiempo real y la necesidad de utilizar datos continuos para la gestión y concesión del transporte.

En cuanto a los ejes estratégicos planteados, se identifican dos con una vinculación directa con la gestión del conocimiento:

- Eje 1: Línea de acción “Desarrollo de capacidades y competencias”.
- Eje 3: Innovación tecnológica, con la línea de acción “Automatización de procesos e innovación para mejorar la experiencia del usuario”. Este eje contempla como resultado esperado que la digitalización y el uso de tecnologías avanzadas fortalezcan la gestión interna y la coordinación interinstitucional.

Concejo Nacional de Concesiones (CNC)

En el Plan Estratégico Institucional 2020-2025 se planteó como valor público aquel que contribuye a mejorar la calidad de vida de las personas, “propiciando el desarrollo de infraestructura y servicios públicos, por medio de esquemas de alianzas público-privadas; e impactando en el desarrollo social, económico y ambiental de Costa Rica”.

En relación con los planteamientos del FODA (tabla 19), se destaca limitación en la disponibilidad de personal especializado. Como consecuencia, se propone solventar esta debilidad mediante un “programa de capacitación acorde con las necesidades y retos que enfrenta la institución”. A nivel de fortalezas, se resalta la oportunidad de generar convenios de cooperación, aspecto que acompaña la oportunidad vinculada con los beneficios que ofrece la figura de la concesión para la inversión en obra pública. En cuanto al ámbito tecnológico, este no se señaló como tema prioritario ni en las acciones ni en el FODA de esta entidad.

Tabla 19. Extracto del FODA - CNC Plan Estratégico Institucional 2020-2025

Fortaleza	Oportunidad	Debilidades	Amenazas
Posibilidad para generar convenios de cooperación.	Ante situación fiscal, la figura de la Concesión es una alternativa para incrementar inversión en infraestructura.	Inadecuado Tratamiento documental de la información. Poco personal especializado en áreas sustantivas.	Dependencia presupuestaria.

Fuente: PEI 2020

Respecto de la información complementaria que apoya la gestión de la CNC en temas de resiliencia climática, resulta pertinente mencionar el trabajo que desarrolla el Sector mediante una de las acciones del Plan de Adaptación y Mitigación. Esta acción consiste en apoyar la gestión de obra pública mediante la entrada en vigencia de una Guía de Formulación y Administración de Proyectos, orientada a incorporar la variable ambiental y el cambio climático en los proyectos de infraestructura del Sector. Este instrumento contribuirá a fortalecer la resiliencia climática en las obras de infraestructura.

Concejo Nacional de Vialidad (CONAVI)

Este Concejo define como valor público efectuar una gestión comprometida con el bienestar y el desarrollo del país, mediante el aseguramiento de la sostenibilidad de la Red Vial Nacional (RVN). Esta se logra a través de la conservación y el mantenimiento de la red, mediante la garantía de condiciones seguras para el tránsito ciudadano y el trasiego de bienes, que fomenten el desarrollo económico, atiendan las necesidades de la población y actúen en armonía con el ambiente.

En concordancia con lo anterior, el PEI 2025-2029 establece como misión que el CONAVI es una institución especializada en infraestructura vial, comprometida con el desarrollo del país. Su propósito es alcanzar la sostenibilidad de la red vial nacional a través de contratos y convenios con terceros que garanticen condiciones óptimas de operación, mediante procesos de mejora continua. Además, incorpora una visión con enfoque de gestión del riesgo de desastre, expresada de la siguiente manera: “El Consejo Nacional de Vialidad implementará un plan de reducción de riesgo de desastre, incorporando criterios de cambio climático en el desarrollo de proyectos, para que en el año 2035 la red vial nacional tenga mayor capacidad de adaptación y resiliencia ante eventos hidrometeorológicos”.

Tabla 20. Extracto del FODA- CONAVI Plan Estratégico Institucional 2025- 2029

Fortaleza	Oportunidad	Debilidades	Amenazas
Recurso tecnológico institucional.	Incorporación de elementos de cambio y variabilidad climático e implementación de buenas prácticas internacionales, mejora continua a los proyectos.	Herramientas tecnológicas no integrales.	Asignaciones presupuestarias y cambio de gobierno.

Fuente: CONAVI PEI 2025.

El CONAVI plantea un objetivo estratégico relacionado con la gestión del riesgo de desastres: “Incorporar el análisis de riesgo y la vulnerabilidad por cambios hidrometeorológicos y variabilidad climática en el ciclo de vida del proyecto, para identificar medidas correctivas prioritarias en la red vial nacional y desarrollar obras de infraestructura vial resilientes”. Asimismo, define dos objetivos operativos orientados a revisar procesos previos y prepararse para el futuro mediante infraestructura resiliente: “Desarrollar acciones correctivas para las condiciones de riesgo existentes” y “Desarrollar nuevas obras de infraestructura vial resilientes incorporando elementos de cambio climático y variabilidad climática”.

Resulta relevante destacar varias líneas de acción vinculadas con la gestión del conocimiento:

- Eje Desarrollo de talento humano. El resultado esperado es la implementación de programas de capacitación y entrenamiento, considerando la línea de acción orientada al uso de tecnologías.
- Eje Planificación. La meta consiste en contar con la “gestión de convenios interinstitucionales en las áreas administrativas que requieren información”, conforme a la línea de acción que busca establecer acercamientos interinstitucionales para obtener datos no disponibles internamente.

- Eje Tecnología e innovación. Se proyecta disponer de un sistema de gestión de datos para la toma de decisiones, con base en la línea de acción orientada a propiciar la transformación digital.

Un producto técnico relevante que conviene destacar para la generación de conocimiento en resiliencia climática es el Plan institucional para la adaptación de la Red Vial Nacional ante amenazas de origen hidrometeorológico y climáticas en Costa Rica (CONAVI, 2022). Este documento analiza los escenarios climáticos asociados con el aumento del nivel del mar en Costa Rica para los años 2071 y 2100. Asimismo, alerta sobre los territorios que el Sector debe considerar para planificar ante posibles daños viales y presenta recomendaciones técnicas orientadas al fortalecimiento climático de la infraestructura.

Dirección General de Aviación Civil (DGAC)

La Dirección General de Aviación Civil, desde el planteamiento de su misión, busca “garantizar y promover una actividad aeronáutica ordenada, eficiente y respetuosa con el medio ambiente”. Este enfoque se refleja en las gestiones que desarrolla para atender el cambio climático, dado que forma parte de un sector de transporte organizado a nivel mundial y comprometido con avanzar en la reducción de emisiones para mitigar el riesgo asociado con el calentamiento global.

Un producto relevante de la DGAC en materia de cambio climático es el “Plan de Acción Nacional de Reducción de Emisiones de Carbono en la Aviación Costarricense”. Este plan constituye un compromiso global del sector aéreo, coordinado por la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI), que implementó el Plan de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA). Este mecanismo orienta los esfuerzos de mitigación que deben gestionarse en el sector aeronáutico.

Entre las medidas de mitigación destacan las mejoras operativas y de gestión en el tránsito aéreo para el ahorro de combustible y la reducción de emisiones, la modernización de la flota con aviones más eficientes, la participación institucional en la implementación del CORSIA y, de manera especialmente relevante, la introducción de combustibles sostenibles (SAF, por sus siglas en inglés). Con este plan, la institución busca aportar a los esfuerzos de descarbonización. Cabe aclarar que no fue posible incluir un FODA, dado que dicho material no se encontraba disponible en los documentos consultados.

Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER)

En su Plan Estratégico 2025-2029, el INCOFER describe los esfuerzos de reactivación del servicio ferroviario en la Gran Área Metropolitana (GAM) posteriores al cierre técnico y hasta la actualidad. El objetivo es modernizar el sistema ferroviario nacional mediante la implementación de proyectos clave como el Tren Rápido de Pasajeros (TRP), el Tren Huetar y el Tren Pacífico Central. En esta línea, su valor público se fundamenta en “su capacidad para mejorar la movilidad, impulsar el desarrollo económico, promover la sostenibilidad y contribuir al bienestar general de la población costarricense”.

En materia climática, el INCOFER desarrolla dos proyectos relevantes: el Tren Eléctrico de Pasajeros y el Tren Eléctrico de Carga. Ambos contemplan acciones orientadas a la mitigación del cambio climático y forman parte de los reportes del país en las NDC (Contribuciones Nacionalmente Determinadas).

Respecto del proceso de reactivación del servicio ferroviario, el enfoque del FODA refleja esta prioridad. Aunque no incorpora componentes específicos en innovación o tecnología, sí enfatiza la necesidad de fortalecer y mejorar los recursos existentes. Por esta razón, el extracto del FODA no destaca elementos tecnológicos o de gestión de datos, sino aspectos vinculados con las condiciones actuales de la institución.

El INCOFER enfrenta limitaciones financieras y de infraestructura, lo que reduce su capacidad para ofrecer transporte masivo de pasajeros o carga. En consecuencia, se proyecta un futuro más favorable siempre que exista apoyo político y un cambio en la cultura del carrocentrismo que incentiva el uso de vehículos particulares. En ese escenario se apuesta por la modernización del sistema, la ampliación de los servicios y la mejora de la imagen institucional.

En el PEI, la misión institucional se define como “proporcionar servicios de transporte ferroviario para mejorar la movilidad y competitividad del país, mediante un sistema de transporte de pasajeros y carga que sea de alta calidad, eficiente, oportuno, inclusivo, resiliente y sostenible”.

Tabla 21. Extracto del FODA- INCOFER Plan Estratégico Institucional 2025-2029

Fortaleza	Oportunidad	Debilidades	Amenazas
Gestión ferroviaria a nivel nacional	Recuperación de infraestructura	Presupuesto limitado	Desinterés en el desarrollo ferroviario

Fuente: INCOFER, PEI 2025.

El INCOFER enfrenta limitaciones financieras y de infraestructura, lo que reduce su capacidad para el transporte masivo de pasajeros o carga. Por esta razón, se proyecta un futuro más favorable siempre que exista apoyo político y un cambio en la cultura popular del carrocentrismo que fomenta el uso de vehículos particulares. En ese escenario se apuesta por la modernización del sistema ferroviario, la ampliación de los servicios y la mejora de la imagen institucional.

En el PEI se establece como misión “proporcionar servicios de transporte ferroviario para mejorar la movilidad y competitividad del país, mediante un sistema de transporte de pasajeros y carga que sea de alta calidad, eficiente, oportuno, inclusivo, resiliente y sostenible”.

El INCOFER posiciona ejes estratégicos fundamentales para el crecimiento que busca. En el marco de la gestión del conocimiento destacan los siguientes:

- **Eje 2. Innovación y tecnología.** Dirigido a la adopción de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia, la seguridad y la calidad del servicio.
- **Eje 5. Transformación organizacional y desarrollo del capital humano.** Orientado a invertir en el desarrollo y bienestar del personal para fortalecer la eficiencia y la capacidad de adaptación institucional.

En cuanto a los objetivos estratégicos, se identifican tres con una relación directa con la investigación:

- **Desarrollar e implementar soluciones tecnológicas innovadoras en el sistema ferroviario.** Se busca incorporar tecnologías en los procesos de operación, gestión y seguridad, incluyendo la exploración de alternativas basadas en IA.
- **Fortalecer la capacidad del sistema ferroviario para adaptarse y responder a los impactos del cambio climático.** Este objetivo se orienta a reducir la huella de carbono del sistema y a incorporar medidas de adaptación y resiliencia climática en toda la infraestructura. Incluye la adopción de tecnologías verdes, la incorporación de corredores verdes en estaciones y derechos de vía, y la elaboración de protocolos de resiliencia para enfrentar eventos climáticos.
- **Impulsar y promover una transformación organizacional y el desarrollo del capital humano.** Se busca aumentar la eficiencia y la adaptabilidad institucional mediante un plan de capacitación que mejore las capacidades y competencias del personal.

Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico

El INCOP, en su Plan Estratégico Institucional 2023-2028, establece como misión “facilitar la actividad comercial y económica de Costa Rica, mediante la prestación y fiscalización de los servicios portuarios, contribuyendo además con el desarrollo socioeconómico de la provincia de Puntarenas”. Si bien no incorpora un FODA que permita conocer su situación en los ámbitos tecnológico o humano, estos aspectos se reflejan en dos objetivos que los contemplan como líneas de acción (INCOP, 2023; pág.6 y 8):

Objetivo 1 Promover la Modernización Portuaria en el Litoral Pacífico de Costa Rica, señala dos acciones vinculadas a dichos ámbitos

- “d. Promoción del conocimiento portuario a través de capacitación, pasantías y cursos para disminuir la práctica empírica en las labores de los puertos. (Gestión portuaria)
- e. Desarrollo de plataforma tecnológica robusta e integral, propiedad del INCOP. Generar una comunidad portuaria a través de estas herramientas.”

Objetivo 6 Desarrollar las competitividades institucionales que favorezca el compromiso de laboral, en equidad y sostenibilidad.

- “d. Gestión eficiente del talento humano:
- d. Plataforma tecnológica que automatice los procesos, la tecnología como un gran aliado

Las medidas anteriores tienen como propósito gestionar el capital humano y tecnológico como ejes para lograr su misión.

Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica de Costa Rica (JAPDEVA)

Considerando los elementos de capital de conocimiento, tecnológico y humano, se extrajeron ciertos componentes del FODA para el análisis. En el ámbito tecnológico se destaca el reconocimiento de la carencia de “un plan de inversión en nuevas tecnologías” y las dificultades asociadas a la salida de funcionarios de la unidad encargada. También se señala el uso de sistemas caducados que presentan interrupciones frecuentes, la baja cobertura del servicio de Internet y el procesamiento lento de datos, lo cual impide realizar la liquidación de servicios brindados a las naves en tiempo real. Estas limitaciones se agravan en el ámbito de las operaciones portuarias, dado que las nuevas tendencias tecnológicas apuntan a la automatización de procesos, lo que constituye una amenaza para la institución en función de sus capacidades actuales.

Respecto de los demás elementos, se extrajeron los siguientes:

Tabla 22. Extracto del FODA- JAPDEVA Plan Estratégico Institucional 2023-2027

Fortaleza	Oportunidad	Debilidades	Amenazas
Se cuenta con un programa de gestión ambiental y de atención a fenómenos naturales.	Desarrollo del Clúster de Logística del Caribe, único a nivel centroamericano presente en la zona.	Carece de un plan de inversión en nuevas tecnologías y no tiene la capacidad instalada para la automatización que enfrenta la competencia.	Poca disponibilidad de mano de obra especializada y brecha de servicios educativos en la región.

Fuente: PEI, 2023

Resulta especialmente relevante el clúster conformado por empresas logísticas, instituciones académicas, entidades del gobierno central y local, y otros actores. En este caso, el PEI (2023) señala como oportunidad en la generación de información el desarrollo de “estudios estadísticos de profundidad, de actividades como el

transporte marítimo, almacenamiento y transporte de carga, servicios portuarios y demás relacionados con la logística”. Estos estudios, elaborados en alianza con los actores mencionados, constituyen insumos para la toma de decisiones orientadas al desarrollo regional.

Las debilidades y amenazas extraídas del FODA se relacionan con el ámbito del capital humano. Estratégicamente, se plantea la necesidad de fortalecer las capacidades para impulsar el desarrollo de la región Caribe, con énfasis en la formación de micro, pequeñas y medianas empresas que puedan brindar servicios a JAPDEVA.

En cuanto a obras preventivas frente a riesgos identificados, se plantea el mantenimiento del dragado en los canales. Este contribuye a reducir el riesgo de inundación de los ríos y evita afectaciones en las operaciones portuarias por acarreo de sedimentos. Asimismo, permite mantener las condiciones de navegación de los Canales del Norte (112 km) y de Limón (12 km). Respecto de la Ruta 32, principal conector de las operaciones políticas, económicas y sociales, el enfoque se orienta hacia la atención temprana de derrumbes y otras situaciones de riesgo.

Capital tecnológico y humano

Siguiendo la ruta planteada por la CEPAL, descrita en páginas anteriores, para una gestión del conocimiento se requiere contar con infraestructura tecnológica confiable que permita compartir el conocimiento explícito. También, es necesario conectar a las personas que poseen el conocimiento con quienes lo requieren, promover liderazgo, comportamientos y prácticas de socialización orientadas a preguntar, escuchar y compartir. Asimismo, se necesitan procesos que simplifiquen, validen y destilen el conocimiento.

De esta manera, se aborda el capital tecnológico y humano relacionado con la gestión de datos e información en el Sector, conforme con las condiciones y capacidades existentes. Esto permite considerarlos de manera integral y describirlos individualmente cuando corresponda.

1. Caracterización capital tecnológico

Como parte de la valoración en este ámbito, se identifican los datos que se comparten como Sector y, posteriormente, se describe de manera específica las condiciones del capital tecnológico y humano identificadas en los sitios web institucionales, así como algunos elementos resaltados en los planes estratégicos. La descripción se realiza con base en la información disponible en los sitios web oficiales, destacando las dependencias que cuentan con una Unidad de Tecnologías de Información y aquellas que poseen o no una estructura para el desarrollo de sistemas.

En cuanto a los datos compartidos sectorialmente, la Secretaría de Planificación Sectorial publica anualmente estadísticas mediante el “Anuario Estadístico del Sector” (2024). Este documento reúne información general según los modos de transporte: terrestre, ferroviario, aéreo y fluvial-marítimo. También, incorpora datos sobre carreteras y accidentes de tránsito. La información proviene de las instituciones del Sector y de otros entes que generan datos de interés sectorial, según se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 23. Instituciones que generan datos para el anuario estadístico

Instituciones del Sector	Otras instituciones
Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT)	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP)
Consejo Nacional de Concesiones (CNC)	Banco Central de Costa Rica (BCCR)
Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)
Consejo de Seguridad Vial (COSEVI)	Instituto Nacional de Seguros (INS)

Consejo de Transporte Público (CTP)	Laboratorio Nacional de Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME)
Consejo Técnico de Aviación Civil (CETAC)	Ministerio de Hacienda. Dirección General de Aduanas (DGA)
Dirección General de Aduanas (DGA)	
Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER)	
Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (INCOP)	
Junta de Administración Portuaria y Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA)	

Fuente: Anuario estadístico (2024).

Las temáticas de los datos recopilados y publicados en el Anuario Estadístico 2024 se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 24. Estadísticas del Sector por medio de transporte

Generalidades del Sector 2014-2023*
Inversión realizada en infraestructura
Presupuesto total y ejecutado de las entidades que integran el Sector
Valor agregado de las actividades económicas en Transporte y Almacenamiento
Pasajeros movilizados por modo de transporte
Número de viajes por modo de transporte
Trafico de comercio de carga por modo de transporte
Transporte internacional de carga, según aduana. Kilos exportados e importados de mercancía 2023
Transporte por carretera
Longitud de la red vial de carreteras y caminos
Condición de la red vial nacional asfaltada (IRI, deflectometría de impacto FWD, superficie de rodamiento, provincia)
Vehículos automotores en circulación
Importación de vehículos automotores
Tránsito promedio diario (TPDA) en rutas nacionales
Movimiento vehicular, por puesto de peaje
Ingresos anuales recaudados por puesto de peaje
Accidentes de tránsito
Accidentes de tránsito en rutas nacionales, lesionados y fallecidos "in situ",
Tasa de mortalidad en sitios y lesionados por 100 000 habitantes en accidentes de tránsito
Cantidad de muertos en sitio por año según tipo de usuario y accidente
Transporte ferroviario
Carga Transportada por el ferrocarril al Atlántico
Pasajeros transportados por ferrocarril
Extensión de la red ferroviaria existente y en operación
Ingresos por prestación del servicio de transporte de pasajeros por ferrocarril en las rutas del Sector Pacífico en el GAM
Cantidad de incidentes con el ferrocarril
Transporte aéreo

Aeropuertos Internacionales. Pasajeros transportados por año según aeropuerto y tipo de pasajero
Aeropuertos Internacionales. Pasajeros locales por año, según aeropuerto base
Aeropuertos Internacionales. Operaciones por año, según aeropuerto y tipo de operación
Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, carga movilizada
Aeropuertos en servicio en el país, por superficie de rodamiento
Transporte Fluvial y Marítimo
Pasajeros transportados según puerto
Arribo de buques según modalidad y tipos de naves
Carga movilizada, según puerto
Mercadería embarcada y desembarcada, según puerto
Cantidad de carga importada y exportada, según puerto y tipo de nave,

Fuente: Anuario estadístico (2024).

Las **herramientas informáticas web visibles con contenido de datos para los usuarios** se agrupan en dos categorías principales (tabla 25), según la revisión realizada en los sitios web de todas las dependencias:

- **Visores cartográficos.** Permiten la visualización de datos georreferenciados distribuidos en el territorio nacional y facilitan el análisis espacial por parte de los usuarios.
- **Portales de datos.** Algunos ofrecen estadísticas estáticas mediante documentación disponible en el sitio, mientras que otros presentan la información en espacios más dinámicos que permiten una interacción mayor por parte del usuario.

Tabla 25. Resumen de sistemas disponibles en sitios web de cada entidad

Dependencia	Visores cartográficos	Portal de datos
MOPT	✓	
CONAVI	✓	✓
COSEVI	✓	Observatorio ✓
CTP	SNIT ✓	Pizarras de datos ✓
CNC	–	–
DGAC	SNIT ✓	Estadísticas
INCOFER	–	Estadísticas
JAPDEVA	–	Estadísticas
INCOP	–	Sistema de Estadísticas

Fuente: Elaboración propia (2025)

De acuerdo con la tabla anterior, cinco entidades cuentan con visores cartográficos: MOPT, CONAVI y COSEVI, así como dos instituciones más que publican su información georreferenciada a través del SNIT (Sistema de Información Territorial), el CTP y la DGAC. Asimismo, tres entidades disponen en sus páginas de una pizarra interactiva con datos dinámicos: CONAVI, COSEVI y CTP. En el caso del MOPT, antes de 2023 se contaba con un portal de datos que fue dado de baja a raíz del ciberataque ocurrido ese año.

En cuanto a los **Departamentos de Tecnologías de Información o unidades afines**, cada dependencia incluye dentro de su estructura una Unidad, Departamento o Dirección de TI (MOPT, COSEVI, CONAVI, CTP,

CNC, DGAC, INCOFER, INCOP y JAPDEVA). Solo tres instituciones tienen el proceso segregado en varias unidades, lo que facilita la producción de sistemas visibles en sus páginas web. Considerando los productos orientados al usuario y lo publicado en los sitios web, donde se evidencia la interacción con los datos disponibles, se amplían a continuación los elementos más relevantes:

Ministerio de Obras Públicas

La institución cuenta con una Dirección de Informática que se subdivide en el Departamento de Soporte Técnico (Unidad de Bases de Datos y Unidad de Redes), el Departamento de Ingeniería de Sistemas, el Departamento de Bienes Informáticos y el Departamento Web y Gobierno Digital. Además, dentro de la Secretaría de Planificación Sectorial existe una Unidad Informática encargada de brindar asesoría y apoyo en temas informáticos, tales como mantenimiento y desarrollo de sistemas, procesamiento de información mediante rutinas de programación y análisis de nuevos productos y requerimientos de información.

Según el PEI 2020-2025, la institución contabilizaba 42 sistemas de información (tabla 26), cifra correspondiente al 9 de julio de 2019. No obstante, el número de sistemas se vio afectado en 2023 debido al ciberataque que impactó a la institución durante aproximadamente seis meses. En el PEI se destacan, en el ámbito de la gestión de datos, los proyectos relacionados con plataformas de bases de datos, almacenamiento, servidores y telecomunicaciones, así como los sistemas desarrollados mediante convenios con otras instituciones para el intercambio de información. Este último aspecto reviste particular importancia para los fines de esta investigación.

En su sitio web se puede acceder a diversa información. Para efectos de este estudio, resulta relevantes los sistemas visibles en el menú de servicios. En el ámbito de los datos de información geográfica, la Secretaría de Planificación Sectorial pone a disposición del público visores sobre la distribución de la red vial nacional. Estos permiten visualizar la red vial nacional, la red de calles de travesía y las estaciones de conteo temporal del tránsito promedio diario (TPD). Esta información también se encuentra disponible en el SNIT.

Por otra parte, en el sitio web del Ministerio - menú servicios - a fecha de junio 2025, se dispone de los siguientes sistemas dirigidos a los usuarios:

- Sistema de Alineamiento Vial
- Sistemas de Certificaciones de Red Vial
- Aplicación web Tránsito Promedio Diario (TPD)
- Sistema Inconformidades y Consultas de la Contraloría
- Sistema Integrado de Ingeniería de Tránsito (SISIT)
- Sistema de gestión marítima portuaria (SIGEMAP)
- Denuncias contra oficiales de tránsito

Tabla 26. Servicios web brindados por el MOPT (julio del 2019)

Medio	Servicio web
Portal Institucional (sitio web)	Solicitud de alineamiento vial.
	Mapa de sitios de cruce de fauna.
	Mapa Red Vial Nacional.
	Reporte de tránsito promedio diarios (TPD).
	Sistema de Mapas Web.
	Reductores de velocidad.
	Reporte de semáforos.
	Atención técnica a municipalidades.
	Pronóstico de corrientes.
Acceso a servicios para la ciudadanía de parte de la Dirección General de Educación Vial y COSEVI.	
Portal de datos abiertos	Brinda información acerca de datos masivos para consulta tanto de la ciudadanía como otras entidades.
Portal Institucional Interno	Brinda información y acceso a sistemas de información al usuario interno.
SISIT (Sistema integrado solicitudes Ing. de Tránsito)	Permite a la ciudadanía crear solicitudes digitales referentes al quehacer de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito.
VUM (Ventanilla Única Marítima)	Permite a las Instituciones involucradas en el proceso de recepción de embarcaciones, gestionar solicitudes de ingreso a los puertos del país a través de las navieras que las representan.
Plataforma del campus virtual	Permite a funcionarios internos como externos (otras instituciones públicas) acceder a cursos virtuales que ayudan en aumentar y mejorar el conocimiento en temas relacionados con la gestión pública. Además, contribuye a la disminución de costos relacionados a traslados para capacitaciones.
Plataforma del repositorio sectorial	Pone a disposición de la ciudadanía un compendio muy amplio de conocimiento a nivel de documentación digital referente al quehacer del Sector de Infraestructura y Transporte. De esta manera, se preserva y comparte uno de los activos más importantes de cualquier Institución, la información y el conocimiento.
Plataforma de catálogo en línea	Brinda información a la ciudadanía acerca de la documentación física que se almacena en el Proceso de Gestión de la Información y del Conocimiento.
Otros servicios (internos)	SIMOVU (Sistema para alertar acerca del movimiento de funcionarios)
	Sistema de Control de Visitantes
	Plataforma Institucional de Encuestas
	Plataformas de Quejas y Consultas

Fuente: MOPT. PEI 2020-2025

Consejo de Seguridad Vial

A nivel del organigrama, el COSEVI cuenta con la Dirección de Asesoría en Tecnología de la Información, conformada por seis áreas: Servidores y Base de Datos; Redes y Telemática; Desarrollo; Proyectos Tecnológicos; Soporte Técnico y Seguridad Informática.

El sitio web institucional ofrece diversos servicios para la tramitación en línea. Para este estudio, destaca el Observatorio Costarricense de Seguridad Vial, que dispone de anuarios estadísticos, informes de investigación, una colección de datos generales (infracciones, conductores, licencias, fallecidos, accidentes y pruebas teóricas y prácticas), visualización de gráficos y estadísticas, un portal de datos abiertos y un visor cartográfico. En este último se presenta la distribución de accidentes en carretera con datos acumulados de varios años, además de capas geoespaciales relevantes para el análisis de la seguridad vial.

El Observatorio Costarricense de Seguridad Vial pone a disposición del público información sobre seguridad vial y movilidad mediante diferentes recursos de visualización. Entre sus funciones se encuentra la creación de información sobre variables sensibles en seguridad vial y estrategias para mitigar accidentes y lesiones en carreteras. Facilita el acceso a datos específicos, a informes estadísticos, a investigaciones y al sistema de

información geográfica. Su base de datos incluye información sobre infracciones, accidentes de tránsito, fallecidos en sitio, conductores y licencias, así como datos de la revisión técnica vehicular.

En una conversación con T. Guzmán y R. Rojas del Observatorio del COSEVI (comunicación personal, 14 de julio de 2025), se mencionó que la información producida es consumida dentro del Sector, principalmente por el MOPT, en particular por las Direcciones Generales de Policía de Tránsito, Ingeniería de Tránsito y Educación Vial. También es utilizada por el CONAVI para la planificación de obra y la incorporación de variables de seguridad vial; por las municipalidades, especialmente los departamentos de Ingeniería y Desarrollo; por el Instituto Nacional de Seguros, el Ministerio de Salud, los Juzgados de Tránsito, entre otros.

Por la naturaleza de sus datos, el Observatorio mantiene relación con organismos internacionales como la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Observatorio Iberoamericano de Seguridad Vial (OISEVI) y el Grupo Internacional de Datos y Análisis de Seguridad Vial (IRTAD) de la OCDE.

Finalmente, se destaca su participación en el Sistema de Estadística Nacional (SEN). La unidad responsable de la producción de datos es el Área de Investigación y Estadística del COSEVI. En este ámbito, otras dos instituciones del Sector también forman parte del SEN: por el Ministerio de Obras Públicas, el Departamento de Gestión de la Información y del Conocimiento; y por la Dirección General de Aviación Civil, la Unidad de Planificación.

Consejo Nacional de Vialidad

La Dirección de Tecnologías de Información cuenta con un Departamento de Gestión de Proyectos de Software y un Departamento de Administración de Base de Datos. Además, como instancia asesora, la Unidad de Planificación Institucional incorpora una Unidad de Sistemas de Información. En su sitio web se dispone de diversos servicios e información útil para las personas usuarias. Para efectos de esta investigación, destacan el portal de datos abiertos y varios visores con información geográfica en los siguientes rubros:

- Plan Operativo institucional: ubica los proyectos del POI en 2025.
- Mapa de intervenciones de Conservación Vial: localiza las rutas por intervenir en la Red Vial Nacional, el tipo de intervención, indica el mes de inicio y fin, así como el estado.
- Planes estratégicos: localiza la ubicación de proyectos de POI (2024-2025), del PROERI, del Banco de Proyectos de Inversión Pública, los corredores logísticos del PEN 2050, entre otros.
- SAEP: es el Sistema de Administración de Estructuras de Puentes distribuidos en la red vial nacional. Cuenta con dos componentes: un visor, que facilita consultar por ruta, cantón y otras variables, y un portal de indicadores y estadísticas, que señala la ubicación de cada puente. Este último muestra el estado de puentes en reparación, con deficiencia estructural o por tipo de material de losa.

El portal de datos abiertos dispone de información en los ámbitos financiero, de proveeduría, compras y contrataciones, peajes y estaciones de pesaje, entre otros. También presenta información sobre proyectos en diseño, construcción, mantenimiento y proyectos concluidos, así como informes relacionados con el seguimiento de obras estratégicas. Para uso interno, la institución cuenta con otras herramientas, como la implementación de un sistema de Gestión de Pavimentos mediante el software Paver, utilizado para registrar los deterioros del pavimento en asfalto y concreto, con vinculación a la ubicación geográfica de los eventos registrados.

En cuanto a la información orientada a la gestión de riesgos, el Consejo ha elaborado un documento técnico-científico denominado Diagnóstico Integral de Riesgo de la Red Vial Nacional (2018). Además, desde 2020 cuenta con un procedimiento para la reapertura del paso en la Red Vial Nacional posterior a un evento, cuyo objetivo es "atender oportunamente los eventos presentados en las vías y puentes nacionales, para asegurar

la seguridad y transitabilidad de los ciudadanos clientes costarricenses” (CONAVI, 2020). Más recientemente, forma parte del Programa de Emergencia para la Reconstrucción Integral y Resiliente de Infraestructura (PROERI).

Este Programa constituye una plataforma pública dispuesta por el Gobierno de Costa Rica para gestionar de manera más eficiente y transparente los procesos asociados al PROERI, en cumplimiento con las normas y políticas del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE) (PROERI, s. f.).

El PROERI presenta la ubicación de las obras por ejecutar o en ejecución que se encuentran bajo algún tipo de riesgo. Su producto principal es un visor cartográfico en el que se han localizado más de 200 obras. La herramienta, abierta al público, muestra los flujos de aprobación y las obras a ser ejecutadas por cuatro instituciones: el Ministerio de Obras Públicas y Transportes por medio del Consejo Nacional de Vialidad (MOPT-CONAVI), el Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER), el Ministerio de Educación Pública (MEP) y el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH), en la construcción de escuelas y viviendas. Para el caso del MOPT-CONAVI, se ejecutarán 171 proyectos, entre ellos puentes en deterioro y otras obras destinadas a atender problemas de deslizamientos y erosiones en puntos de carreteras nacionales, con el propósito de reducir el riesgo de dejar incomunicadas a las comunidades (PROERI, s. f.).

Consejo de Transporte Público

En este caso, aunque el área encargada de Tecnologías de Información no dispone de un proceso segregado en unidades, la entidad comparte datos dinámicos de forma interactiva para las personas usuarias. Cuenta con catálogos de datos abiertos organizados por categorías, tales como rutas regulares, servicios especiales, taxi y placas registradas por modalidad, entre otros.

En su Plan Estratégico se destaca la importancia del recurso tecnológico con el que cuenta la institución. Entre los principales sistemas se mencionan: a) tecnologías para monitorear la ubicación y el desempeño de la flota vehicular (sistemas GPS y plataformas digitales de gestión de información); b) sistemas internos de apoyo para el archivo digital institucional, destinados a almacenar y organizar datos electrónicos; c) el Sistema de Gestión de Recursos Humanos (SIGRH); d) el sistema financiero-contable, control de presupuesto, pagos y requisiciones (SIFCO); e) el sistema de planificación Felino-PMP; f) el sistema de flotilla vehicular; g) Argos, sistema integrado de auditoría; y h) Qwizard para la gestión de filas, además del SICUT como sistema de control único de transporte (CTP, 2025).

También, sobresale la gestión realizada por el CTP con su capital humano y tecnológico en la producción de datos geospaciales, mediante la publicación de información en el SNIT sobre rutas, recorridos y paradas de autobús. Destaca igualmente la creación de datos en formato GTFS (General Transit Feed Specification), que facilita la estructuración de la información de servicios de transporte público —horarios, paradas, tarifas y otros— y permite su integración en diversas aplicaciones de planificación de viajes. Este formato ya es consumido por plataformas como Google Maps, que actualmente incorpora algunas rutas de autobús del país. A futuro, la institución proyecta establecer un sistema de monitoreo automático del tránsito vehicular en carretera.

2. Capital humano

En todas las dependencias existe un área encargada de gestionar el recurso humano. Sin embargo, no en todas se cuenta con una unidad segregada dedicada específicamente a la capacitación del personal. La segregación del proceso de capacitación se identifica en cuatro dependencias (MOPT, CONAVI, COSEVI y DGAC), mientras que en las cinco restantes (INCOFER, INCOP, JAPDEVA, CTP y CNC) esta función es asumida directamente por el área de recursos humanos.

En los procesos segregados de capacitación, el MOPT dispone de una Dirección de Capacitación y Desarrollo. En el CONAVI, el Departamento de Administración de Personal forma parte del nivel directivo de Gestión de Recursos Humanos y alberga la Unidad de Desarrollo de Talento Humano, responsable de las capacitaciones. En COSEVI existe una Unidad de Capacitación y, en la DGAC, el Proceso de Capacitación y Desarrollo está a cargo de una persona responsable.

Para la ejecución de los procesos de capacitación se recurre a la oferta de diversos centros de formación técnica no formal del país o del ámbito internacional, ajustando las necesidades institucionales a la oferta disponible. Algunos ejemplos de estos centros se encuentran en la tabla 27. Reconociendo que hay temáticas especializadas en la que se debe recurrir a centros fuera del país, por ejemplo, aquellas relacionadas con el sistema ferroviario, el transporte público, aéreo o marítimo, concesiones y alianzas público-privadas (APP).

Tabla 27. Sitios de formación para las dependencias del Sector

Dependencia	Aliados en capacitación
MOPT	JICA, CFIA, Lanamme-UCR, Escuela de Arquitecturas, Escuela de Ingenierías, Escuela de Geología, Escuela de Ingeniería en Construcción del ITCR; CIMAR, IMARES, SINAMOT.
CONAVI	JICA, CFIA, Lanamme-UCR, Escuelas de Arquitectura, Escuelas de Ingeniería
COSEVI	OPS, OMS, INEC
CTP	Lanamme-UCR, Escuela de Ingenierías
CNC	**
DGAC	COCESNA (Corporación Centroamericana de Servicios de Navegación Aérea); ICCAE (Instituto Centroamericano de Capacitación Aeronáutica); BID, OACI, IATA (The International Air Transport Association)
INCOFER	Alamys Asociación Latinoamericana de Trenes; UDIMA (Universidad a Distancia de Madrid)
JAPDEVA	IMARES, COMITRAN, COCATRAM
INCOP	CIMAR, IMARES

Fuente: Elaboración propia a partir de comunicaciones personales (2025).

Nota (**): no se identificaron con facilidad debido a la temática específica de alianzas público privadas.

Es importante destacar el capital humano especializado con el que cuenta el Sector. Por esta razón, los planes estratégicos institucionales del MOPT, COSEVI, CTP y CONAVI lo señalan como una fortaleza mediante expresiones como: “personal con múltiples especialidades”, “grupo profesional multidisciplinario con formación técnica especializada”, “personal capacitado con conocimiento y experiencia en el ámbito de su competencia” y “personal competente en diferentes áreas y personal capacitado”. A diferencia de estas entidades, el CNC identifica en su PEI (2020) la debilidad de contar con “poco personal especializado en áreas sustantivas”.

En esta línea, resulta relevante resaltar que algunas limitaciones de recursos han generado oportunidades de mejora, impulsando la identificación de facilitadores dentro del propio personal. Esto ha permitido la retroalimentación interna en temáticas como relaciones laborales, planificación, presupuesto o salud ocupacional, mediante profesionales que facilitan procesos de capacitación a otros funcionarios. Sin embargo, este esquema no es aplicable a los aspectos técnicos sustantivos de cada dependencia, los cuales suelen requerir facilitadores externos provenientes de centros de formación o de organismos especializados, nacionales o internacionales. De ahí la necesidad de establecer convenios o estrategias que permitan contar con diseños curriculares más afines a las necesidades del Sector.

Si bien el Sector dispone de especialistas, aún no existe un banco de profesionales que funcione como cuerpo de facilitadores internos. La creación de esta red beneficiaría a las organizaciones al promover una política interna de retroalimentación entre colegas y fortalecer los procesos de transferencia de conocimiento. Este cambio cultural permitiría concebir la capacitación como parte del valor público, siempre que se cuente con las condiciones y procesos de articulación necesarios, así como con el apoyo logístico de las unidades responsables de formación.

En este sentido, destaca la acción planteada por el CTP en su PEI 2025-2030, al incluir como producto “contar con un equipo de capacitadores internos conformado y capacitado”. Esta medida fortalece los procesos de transferencia de conocimiento e identifica al personal que ha facilitado actividades formativas, en respuesta a una de las debilidades señaladas en el FODA respecto de los procesos de transferencia.

Síntesis en la Gestión de Conocimiento

A partir de la identificación de las Direcciones o Unidades Técnicas del Sector que generan datos dentro de sus funciones sustantivas, o en la producción de conocimiento vinculado con la gestión de riesgos y desastres, se realizaron reuniones para conocer el quehacer de estas dependencias. Este proceso permitió identificar los actores de los que consumen datos o que mantienen una interacción más frecuente, por tratarse de actores vinculantes en las labores diarias de sus funciones. Este mapeo de interacciones facilitó la comprensión de la dinámica institucional y de los recursos técnicos con los que cuenta el Sector para generar conocimiento en el tema de este estudio. Con todo, es importante señalar que la tabla 28 presenta un resumen de la identificación realizada y tanto la interacción con otros actores o los recursos identificados en la siguiente tabla, puede ser más amplio que lo indicado (Tabla 28).

Tabla 28. Interacción de actores y recursos disponibles

Entidad /Unidad entrevistada	Interacción con otros actores	Recursos/Datos
DGAC (Departamento Aeropuerto Supervisión navegación aérea) y	<p>IMN maneja la información meteorológica. Algunos aeródromos no tienen estaciones meteorológicas.</p> <p>Municipalidades: afectación en permiso de construcción, impermeabilizan áreas cercanas a aeródromos.</p> <p>MOPT-Ingeniería de Tránsito: acompañamiento en cambio de vías.</p> <p>OACI: Organización de Aviación Civil Internacional, para la gestión aeronáutica y registro de emisiones.</p>	<p>Estadísticas de operación de servicio de transporte aéreo de aeropuertos internacionales transporte de pasajeros y de carga y también datos en aeródromos locales. Cuenta con el anuario estadístico.</p> <p>Registro de emisiones y Reporte internacional de emisiones- huella de carbono.</p>
INCOP (Dirección Portuaria)	<p>IMARES: instalación de mareógrafo y servicio de datos de mareas (en proceso).</p> <p>MIO: Módulo de Información Oceanográfica (pronóstico de oleaje y viento, predicción de mareas y fase lunar en ambas costas).</p> <p>UNA: Tiene los datos meteorológicos en la EM de los puertos Golfito y Quepos.</p> <p>SETENA: Trámites.</p>	<p>Estadísticas portuarias.</p> <p>1 mareógrafo en el Pacífico. En proceso un proyecto de cooperación europea para instalar más en el Pacífico.</p>

Entidad /Unidad entrevistada	Interacción con otros actores	Recursos/Datos
	MOPT - Obras Marítimo – Portuarias: Asesoría técnica.	
COSEVI (Dirección Proyectos-Observatorio)	<p>Proveedor de datos para Ministerio de Salud, Dirección de Policía, Ingeniería de Tránsito y Educación Vial; CONAVI, INS, Juzgados de Tránsito, Municipalidades, entre otros.</p> <p>Internacionales: Programa Iberoamericano de Seguridad Vial (OISEVI), Organización Panamericana de la Salud (OPS); Organización Mundial de la Salud (OMS), IRTAD(OCDE).</p>	<p>Colección de datos de: infracciones, accidentes de tránsito, fallecidos en sitio, conductores y licencias e información de la revisión técnica vehicular.</p> <p>Capital humano especializado en el Observatorio de datos: (disciplinas geografía y estadística)</p> <p>Capital humano en TI con capacidades para el desarrollo de sistemas y profesionales con conocimiento en Sistemas de Información Geográfica</p>
CTP (Dirección Técnica)	<p>ARESEP: Modelo tarifario MOPT: Políticas nacionales de transporte Concesionarios: Empresarios de servicios de transporte DEKRA: Datos de vehículos INS: Información vehicular y accidentes COSEVI: Información de seguridad vial</p>	<p>Plataforma de datos abiertos por rutas regulares, servicios especiales, taxi, placas registradas por modalidad, entre otros</p> <p>Sistemas que automatizan la información en la administración de los servicios de transporte público</p> <p>Capital humano en TI con capacidades para el desarrollo de sistemas y profesionales con conocimiento en Sistemas de Información Geográfica</p>
JAPDEVA (Gerencia Administración Desarrollo)	<p>Trabajan proyectos para la gestión de desarrollo de la Región Huetar Caribe con las instituciones, por ejemplo, CONAVI, SENARA, AyA, MEP.</p> <p>MOPT- DMP: apoyo técnico en la construcción de embarcaderos</p> <p>MIO: Módulo de Información Oceanográfica (pronóstico de oleaje y viento, predicción de mareas y fase lunar en ambas costas)</p> <p>SINAMOT: Manejo del mareógrafo y mantenimiento y monitoreo de mareas</p> <p>IMARES: Estudios para clima marítimo</p>	<p>Estadísticas de operaciones portuarias</p> <p>1 mareógrafo en el Muelle Alemán de Limón.</p> <p>Cuentan con capital humano en conocimientos en Sistemas de Información Geográfica</p>
INCOFER (Gerencia operaciones)	<p>Municipalidades y CONAVI: Por intervenciones en reconstrucción de vía.</p> <p>ICE, CNFL, AyA, JASEC, ESPH: Por afectación en servicios públicos dentro del derecho de vía</p> <p>ARESEP: Tarifas Mideplan: Proyectos de inversión</p>	<p>Estadísticas de transporte de pasajeros, carga y proyectos, cuenta con el anuario estadístico</p> <p>Reporte de emisiones</p>

Entidad /Unidad entrevistada	Interacción con otros actores	Recursos/Datos
	<p>MOPT- D. General Ingeniería de Tránsito: Semáforos</p> <p>MOPT- D. General de Policía de Tránsito: Incidentes en vía férrea</p> <p>CNE: Alerta de eventos de emergencia</p>	
<p>CNC (Unidad Planificación)</p>	<p>de</p> <p>Contratistas requieren los datos que generan las instituciones públicas para los estudios en el ciclo de vida de los proyectos de obra pública</p>	
<p>CONAVI (Unidad Planificación)</p>	<p>de</p> <p>Contratistas: Empresas a cargo de estudios de prefactibilidad y factibilidad.</p> <p>En ocasiones solicita apoyo a:</p> <p>MOPT- D. Puentes: Apoyo en criterio técnico</p> <p>MOPT- D Ingeniería: Apoyo geológico y de suelos (laboratorio)</p> <p>MOPT- D. Obras Públicas: Mover material desprendido sobre vías nacionales</p> <p>MOPT- Progas: Trámites en componente ambiental y social</p>	<p>Sistema para Gestión de Pavimentos</p> <p>Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP)</p> <p>Sistema de Gestión de Proyectos</p> <p>Capital humano en TI con capacidades para el desarrollo de sistemas y profesionales con conocimiento en Sistemas de Información Geográfica.</p>
<p>MOPT (Secretaría Planificación Sectorial, D. Puentes, D. Marítimo- Portuaria D. Obras Fluviales D. Edificaciones D. Atención de Emergencias)</p>	<p>de</p> <p>SETENA: Viabilidad ambiental y social.</p> <p>DGM: Permisos fuente de material.</p> <p>DA, CNE, Municipalidades, comunidades: Intervención en cauces fluviales; habilitación de red vial ante eventos de emergencia.</p> <p>CONAVI, CNE: Emisión de criterio técnico relacionados con carreteras y puentes en situaciones de emergencia.</p> <p>INCOP, JAPDEVA, municipalidades: Brindar asesoría técnica en desarrollo marítimo portuario.</p> <p>Municipalidades: Registro de la red vial cantonal; asesorías técnicas en normativa de vialidad; materiales de pavimentos.</p> <p>Mideplan: Cumplimiento con los procesos en las etapas del ciclo de vida del proyecto, inclusión en el Banco de Proyectos de Inversión Pública y seguimiento a Plan Nacional de Desarrollo (PND).</p> <p>CIMAR- IMARES- SINAMOT: Centros de investigación en asuntos costeros.</p> <p>Escuelas universitarias: Enlace técnico en capacitaciones y afines.</p>	<p>Estadísticas de los modos de transporte, tránsito</p> <p>Estudios en ordenamiento, flujo vial, y seguridad vial en las rutas; en suelos y pavimentos, batimetría en costas y puertos para obras portuarias y marítimas, diseño de puentes; estudios y medición de caudal; estudios hidrológicos, entre muchos otros.</p> <p>Datos en km intervenidos en mantenimiento rutina y mantenimiento periódico en la Red Vial Nacional</p> <p>Datos georreferenciados del Registro vial de la red vial nacional, calles de travesía, tránsito promedio diario (TRP). Información del registro vial de la red vial cantonal.</p> <p>Capital humano en TI con capacidades para el desarrollo de sistemas y profesionales con conocimiento en Sistemas de Información Geográfica.</p>

Entidad /Unidad entrevistada	Interacción con otros actores	Recursos/Datos
	<p>CFIA: Centro colegiado de apoyo científico y técnico del Sector.</p> <p>IMN: Proveedores de datos en estaciones meteorológicas.</p> <p>Servicio Nacional de Guardacostas: Tema marítimo portuario en navegación y seguridad.</p> <p>Ministerio de Salud: Construcción de Cen-Cinai.</p> <p>Entidades financieras o sector privado: Por los contratistas u obra concesionada.</p>	

Fuente: Elaboración propia a partir de comunicaciones personales (2025).

Con el fin de sistematizar la gestión de conocimiento a nivel de Sector, se realizó un FODA para dimensionar las limitaciones, fortalezas, oportunidades y amenazas, con base a las comunicaciones personales que se tuvo en el proceso (Tabla 29).

Tabla 29. FODA en la situación actual de la Gestión de Conocimiento

FODA	Fortalezas (¿Qué tiene a favor el Sector para la GDC?)	Debilidades (¿Qué tiene en contra el Sector para agilizar los productos de la GDC?)
Internos del Sector	<p>Normativa: decretos que fomentan la transferencia de conocimiento y capacitaciones en el Sector, así como contar con sistemas de información y manuales especializados (Decretos 23026, 36235-MOPT, 39173-MOPT)</p> <p>Repositorio: accesibilidad a los informes técnicos, la producción de cada dependencia, informe de inspección, requerimientos de estudios preliminares (requisito de un estudio de suelos, hidrológico, geotécnico). Cuenta con la herramienta del Sistema referencial (OPAC).</p> <p>Capital humano: funcionarios con conocimiento técnico y especializado para realizar las funciones en su competencia.</p> <p>Capital tecnológico: Departamentos o Direcciones de TI en las 9 dependencias del Sector, aunque solo en 3 hay una subdivisión en Unidades. Variados sistemas para facilidad de procesos internos y hacia los usuarios.</p> <p>Laboratorio de suelos y pavimentos: el MOPT cuenta con un laboratorio especializado, con equipamiento adecuado que realiza análisis en suelos, concretos, asfalto-emulsiones y pintura (3 ensayos y una resistente para demarcación). Es parte de la Comisión del Sistema Nacional de Calidad (N°24662-MEIC-S-MAG-MIRENEM-MOPT-PLAN).</p> <p>Sistema de información: el Sector cuenta con diferentes aplicaciones para la visualización y gestión de datos espaciales; tiene otros sistemas de información para el registro vial, de puentes y demás programas especializados para el análisis de datos según especialidades de conocimientos.</p>	<p>Limitación de recursos para la gestión de capacitación: de las 8 dependencias del Sector, 5 no cuentan con Unidades de Capacitación independientes, sino que es un proceso asumido por la gestión de Recursos Humanos, solamente en 3 están establecidas como Unidad o Dirección.</p> <p>Presupuesto limitado: anteriormente el Sector contaba con acceso a PIARC (Asociación Mundial de la Carretera, conformada por 125 gobiernos), motor de búsquedas especializado para el acceso a investigaciones de todo el mundo, pero se desafiliaron por el costo anual que implicaba.</p> <p>Ausencia de incentivos para fomentar la investigación; se requiere cambiar la cultura organizacional para incentivar más la investigación e incrementar el acervo bibliográfico técnico y científico del Sector.</p> <p>Dificultad para realizar sinergias interinstitucionales: es importante establecer mecanismos para el uso de recursos de otras instituciones. Por ejemplo, 1) utilizar laboratorios especializados de la academia en maderas o aceros. 2) Realizar trabajo en conjunto entre instituciones, donde una de las partes aporte el recurso humano, y la otra el material de obra, u otro recurso 3) Acceso a equipo LIDAR para levantamiento topográfico, algunas instituciones externas al Sector cuentan con uno. El beneficiado final es la sociedad costarricense, pero el Estado incurre en comprar el mismo activo varias veces para instituciones diferentes. O bien, al no disponer del recurso económico para alquilarlo o comprarlo, la institución debe invertir más tiempo de ejecución.</p> <p>Limitaciones para medición continua de oleaje: a nivel de todo el país, es deseable contar con mediciones permanentes de oleaje al menos en ciertos puntos más representativos, con la finalidad de validar y preferiblemente calibrar, las series de datos obtenidas a partir de los modelos globales. Este tipo de mediciones son esenciales, para el diseño y construcción de obras de ingeniería costera en el país.</p> <p>Recurso humano limitado: cuenta con personal calificado, técnico y profesional, pero es reducido para la cantidad de análisis que se realizan, por ejemplo, en el Laboratorio de Geotecnia, o Unidades Técnicas que generan datos y tienen herramientas para su</p>

	<p>Estaciones meteorológicas instaladas en aeropuertos: la DGAC tiene 3 en el de Guanacaste- Daniel Oduber, y otras 3 en Juan Santa María.</p> <p>Mareógrafos: 1 instalado en el Caribe, Muelle Alemán en Limón. Hay un proyecto para instalar en el Pacífico (Proyectiva- lmares); oportunidad de monitorear el oleaje en las costas, para iniciar el registro de 20 años y en el año 2045 hacer análisis importantes.</p> <p>Estudios batimétricos: el Sector cuenta con equipo y personal profesional especializado para el levantamiento de información batimétrica en costas y puertos y hacer mediciones de oleaje (altura, periodo y dirección) para diseño de obras portuarias y marítimas.</p> <p>Observatorio de Seguridad Vial: el Sector cuenta con un referente en la gestión de datos, estadísticas, información y conocimiento que es parte del Sistema de Estadística Nacional (SEN)</p>	<p>procesamiento, pero no el suficiente personal para maximizar su potencial en investigación.</p> <p>Rezago en el manejo de tendencias tecnológicas: el Sector requiere mantener su competitividad frente al mercado. Hay operaciones que ya han evolucionado en otros países, donde hay mayor automatización y, por ende, plataformas tecnológicas diferenciadas, por ejemplo, en logística portuaria.</p>
Externos del Sector	Oportunidades ¿Qué hay en el entorno al Sector que le favorece contar con la GDC?	Amenazas ¿Qué hay en el entorno del Sector que amenace contar con una GDC?
(entorno país)	<p>Programa de capacitación: existen cursos de capacitación en centros de educación no formal: CFIA, LANAMME y otros fuera del país.</p> <p>Procesos del CECADES: promueve y regula la capacitación en las instituciones públicas.</p> <p>Laboratorios especializados en la academia: ITCR con el CIVCO, la UNA en la Escuela de Ciencias Forestales uno para maderas; el ICE cuenta con Centro de Investigación en Corrosión (CICORr), UCR con LANAMME o el Lab. en Ingeniería Marítima y Fluvial.</p> <p>Alianzas con la academia: es necesario crear convenios para establecer sinergias entre el Sector y la academia (Escuelas de Arquitectura e Ingeniería, Escuela de Metalurgia, Escuela de Geología, y sus centros de investigación)</p>	<p>Modificaciones en la política fiscal: afecta las partidas presupuestarias y, en consecuencia, hay limitación de contratar personal profesional, especializado; acceso a capacitaciones oportuna al personal para el manejo de herramientas; adquisición de equipo especializado de monitoreo, etc.</p> <p>Ley de empleo público: migración de personal especializado a otras instituciones.</p> <p>Cambio internacional en la gestión de enfrentar el CC: la Política exterior y las Potencias Mundiales pueden cambiar el enfoque en la gestión contra el CC.</p> <p>Normativa excesiva o lineamientos: nueva normativa que dificulte o atrase procesos para la ejecución de funciones sustantivas.</p> <p>Cambio de prioridades por injerencia política: la rotación de autoridades en puestos políticos puede provocar el cambio en los objetivos de trabajo, en consecuencia, los procesos no se concluyen, quedan en pausa o se atrasan.</p>

	<p>Alianzas con instituciones: establecer los mecanismos para facilitar sinergias entre las instituciones que pueden apoyar al Sector CNE, IMN, CFIA, Dirección de Cambio Climático, ICE, SETENA, especialmente centros tecnológicos como el PRIAS.</p> <p>Estaciones meteorológicas instaladas en puertos y aeródromos: del IMN tiene 3 en el aeropuerto Daniel Oduber, 3 en el Juan Santa María, 2 en Tobías Bolaños, 1 en el aeropuerto de Limón, y en los Aeródromos San Carlos, Marina Pez Vela, Muelle Herradura, Puerto Vargas (Cahuita)</p> <p>Centros de investigación que monitorean la dinámica costera, continental y fenómenos atmosféricos: CIFEFI, CIMAR, SINAMOT, IMARES, OVSICORI, IMN, y generan datos.</p> <p>Decreto Ejecutivo N° 42465- MOPT-MINAE-MIVAH: mandato a las instituciones públicas que les obliga a compartir datos climáticos</p> <p>Políticas Públicas que promueven la GDC</p>	
--	---	--

Fuente: elaboración propia a partir de comunicaciones personales (2025).

Análisis de mega tendencias y tendencias

Los eventos o decisiones que ocurren en una región del mundo pueden generar repercusiones en otras zonas del planeta. Estas implicaciones producen incertidumbre respecto de la forma más adecuada de afrontar el efecto dominó que generan. Desde la teoría de sistemas, lo que sucede en un componente del sistema repercute en otro. Por ello, el estudio de las megatendencias (MT) resulta fundamental para la construcción de futuros.

Aunque el futuro aún no ha ocurrido, su configuración se construye a partir de los procesos del presente y de las dinámicas del pasado. Lo relevante es identificar y analizar lo que está ocurriendo en otros contextos que pueda afectar, o ya esté afectando, el entorno del objeto de estudio. Para identificar los futuros posibles es necesario conocer las líneas de fuerza y las tendencias planetarias que acompañan los fenómenos globales (CEPLAN, 2015).

Baena (2016) define las tendencias como “fenómenos que permanecen en el tiempo durante largos periodos, se despliegan y algunas desaparecen, otras se fortalecen y surgen nuevas”. Estas tendencias poseen una trayectoria temporal que configura su propio comportamiento y evolución en el entorno. En este marco se identifican dos tipos: aquellas que impulsan el futuro —como las nuevas tecnologías— y las que lo arrastran —por ejemplo, las históricas—.

El término *megatendencias* fue introducido por primera vez por John Naisbitt en 1982 y 1990, en sus estudios *Megatrends* y *Megatrends 2000*. Desde aproximadamente 2010, el concepto ocupa un lugar central en los estudios prospectivos. Según el Copenhagen Institute for Futures Studies, una megatendencia corresponde a un cambio social, económico, político, ambiental o tecnológico que tarda años en formarse, aunque presenta indicios que permiten anticipar con alto grado de certeza su ocurrencia en el mediano y largo plazo (CEPLAN, 2015).

La OCDE (2015) define las megatendencias como cambios a gran escala en los ámbitos social, económico, político, ambiental o tecnológico, que se forman lentamente y que, una vez consolidados, ejercen una influencia profunda y duradera sobre gran parte de las actividades, procesos y percepciones humanas.

Para este análisis se tomó como base el estudio *Megatendencias: un análisis del estado global* (2015) elaborado por el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico del Perú (CEPLAN). Este documento sintetiza diversas revisiones de fuentes primarias y secundarias producidas por organizaciones, centros de investigación, *think tanks* y universidades especializadas en la exploración y el análisis de tendencias globales.

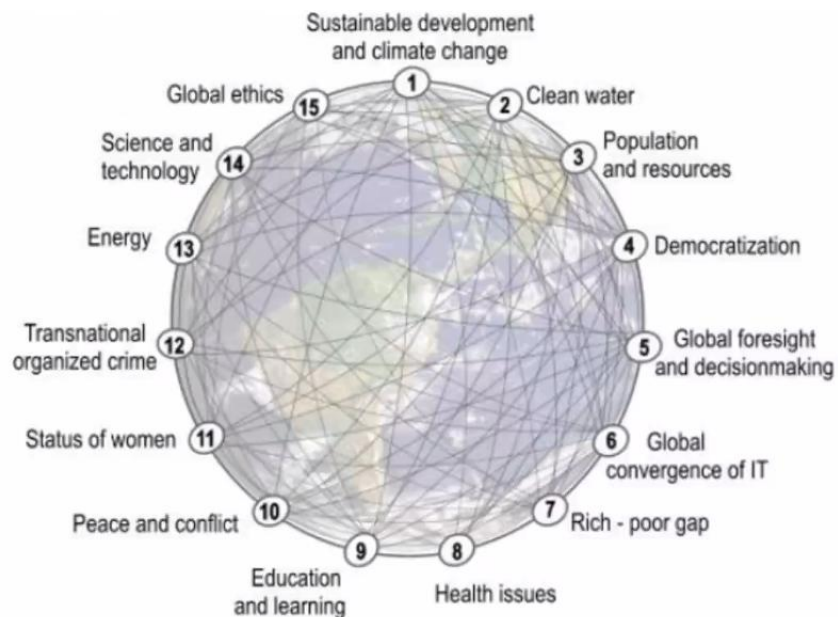
La OCDE (2015) señala que “las megatendencias darán forma a las futuras agendas de I+D y a los alcances y escalas de la demanda de innovación a futuro”. Se prevé que factores como el envejecimiento de la población, la mitigación y adaptación al cambio climático, los retos emergentes en salud y la creciente digitalización, entre otros, influirán en las actividades de investigación e innovación realizadas por el sector empresarial y por el sistema científico público.

Para el presente estudio prospectivo se identifican las megatendencias vinculadas con la gestión de conocimiento en resiliencia climática para infraestructura de transporte y con sus repercusiones en la gestión del riesgo y desastres (GRD). Este análisis se integra en la dinámica del sistema representado en el Diagrama de Forrester (Figura 15, pág. 54), y se enmarca en dos megatendencias principales: a) cambio climático, y b) masificación del conocimiento y convergencia tecnológica.

En este análisis resulta pertinente considerar los aportes del *Proyecto Millenium*⁵, particularmente los resultados asociados a los 15 Desafíos Globales (figura 18). Este proyecto los estudia desde 1996 y, mediante una red internacional de investigadores del futuro, los ha actualizado de manera continua. Dentro de esta lista de desafíos, es relevante destacar aquellos vinculados con el cambio climático y las tecnologías de la información.

En este marco se identifican dos interrogantes centrales: ¿cómo lograr un desarrollo sostenible para todas las personas y, simultáneamente, abordar el cambio climático global? y ¿cómo pueden las tecnologías de la información y las comunicaciones, la inteligencia artificial, el *big data* y la computación en la nube funcionar en beneficio de toda la población? Estos desafíos orientan la reflexión en torno al papel que desempeñan la tecnología, el acceso a la información y la generación de conocimiento en la resiliencia climática y en la planificación estratégica del Sector.

Figura 18. Los 15 desafíos globales



Fuente: Millennium Project (2025)

En el caso del primer desafío, el cambio climático, el reporte correspondiente señala que las emisiones de CO₂ pasaron de 416,67 ppm en 2021 a 421,86 ppm en 2023. Este aumento compromete la posibilidad de alcanzar la meta proyectada para 2050. Aunque la década anterior fue la más calurosa registrada, las emisiones continúan incrementándose cada año. Como consecuencia, se han cerrado escuelas para aproximadamente 40 millones de estudiantes en el norte de África y Asia debido a temperaturas cercanas a los 45 grados Celsius (113 °F). También se ha documentado precipitación en la cima de la capa de hielo de Groenlandia, un fenómeno sin precedentes, así como floraciones algales más densas en la Antártida.

⁵ Centro de estudios participativo global que tiene como propósito mejorar las perspectivas de la humanidad para construir un mejor futuro. Esta red de pensadores de futuro pone a disposición su conocimiento para todos los usuarios del futuro y así gestionar retroalimentación y sabiduría para la toma de decisiones.

El Proyecto Millennium incorpora además una visión regional. En el caso de América Latina, se señalan los efectos del calentamiento global manifestados en olas de calor, inundaciones, incendios forestales y huracanes durante 2023. Enero de 2024 se registró como el mes más caluroso, con un aumento de poco más de 1,5 grados Celsius respecto de los niveles previos, y se prevé “una pérdida anual de 100 000 millones de dólares para 2050 si la temperatura global aumenta 2 °C con respecto a los niveles preindustriales”. El reporte destaca asimismo la situación de la cuenca del Amazonas, que almacena el 10% del carbono global. No obstante, su capacidad de absorción se ha visto reducida por el calentamiento global y por la creciente demanda de exportaciones de recursos naturales y soja.

América Latina posee el 60% de la biodiversidad del planeta y presenta un gran potencial para proyectos de secuestro de carbono. La selva amazónica, que secuestra el 25% del carbono mundial, enfrenta amenazas constantes por incendios forestales y por procesos de deforestación asociados con actividades agrícolas, lo que ha revertido su rol como sumidero al convertirla en un emisor neto en los últimos años (Millennium Project, 2025).

El Proyecto Millennium (2025) establece que “el 35% de las emisiones de carbono de América Latina provienen del cambio de uso del suelo, la mayor cantidad de cualquier región. La demanda de energía hidroeléctrica y biocombustibles también está reduciendo la capacidad de los bosques para secuestrar carbono. La cubierta forestal también está bajo amenaza debido a la minería”.

Cambio climático

Esta megatendencia constituye una de las fuerzas motrices más relevantes para la humanidad. El cambio climático, entendido como el aumento de la temperatura media global, conlleva efectos como el derretimiento de la nieve y del hielo en todo el planeta. Esto provoca el incremento del nivel medio del mar y la aparición de problemas climáticos graves en diversas regiones (CEPLAN, 2015). Se registran sequías extremas e inundaciones en lugares donde históricamente no ocurrían, afectando a la población humana y a otras formas de vida. El cambio climático desestabiliza las dinámicas ambientales habituales y genera, entre otros efectos, un aumento del riesgo ante amenazas naturales y la aparición de vulnerabilidades en nuevos núcleos de población.

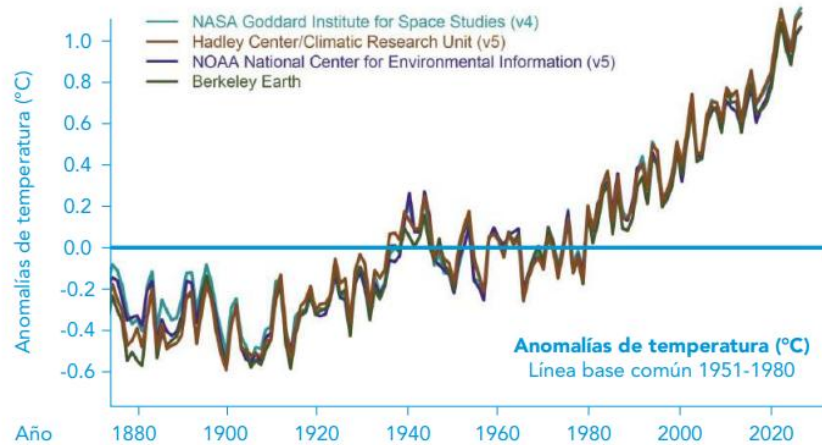
El Climate Bonds Initiative (CBI, 2019) señala que las pérdidas asociadas a eventos climáticos han pasado de un promedio decenal global de 12 mil millones de dólares en 1980 a 119 mil millones de dólares en la actualidad. Se estima que los costos derivados de un clima extremo podrían alcanzar el 1% del PIB mundial anual para 2050 y hasta un 20% del PIB en 2100 si se amplían los riesgos e impactos. Entre los efectos negativos destacan el aumento del nivel del mar, la mayor ocurrencia de huracanes, sequías, incendios forestales y tifones, así como cambios drásticos en los patrones y rendimientos agrícolas, afectando principalmente a las poblaciones más vulnerables.

El enfrentamiento al cambio climático se consolidó como decisión mundial en 2015, mediante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) en París. El Acuerdo de París, tratado internacional legalmente vinculante suscrito por 193 partes, comprometió a los países a implementar medidas de mitigación y adaptación. Sus objetivos incluyen reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), revisar los compromisos cada cinco años, financiar a los países en desarrollo, fortalecer la resiliencia climática y mejorar la adaptación ante los impactos del cambio climático. El reto consiste en mantener el incremento de la temperatura global entre 1,5 °C y 2 °C hacia mediados de siglo, aproximadamente para 2050.

Para contextualizar esta meta, se retoman las causas del cambio climático, resultado de la acumulación de GEI en la atmósfera derivados de la actividad humana. Estas emisiones han provocado un aumento de 1,2 °C respecto de los niveles preindustriales (figura 19). La acción mundial se orienta a reducir las emisiones

rápidamente para frenar el proceso de calentamiento. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), “para tener un 66% de probabilidades de que la temperatura media no exceda 2 °C sobre la de la era preindustrial, las emisiones globales tendrán que ser cero dentro de la segunda mitad del siglo, y aproximadamente entre el 40% y 70% menos de lo que fueron en el 2010 para el año 2050” (MINAE, 2018).

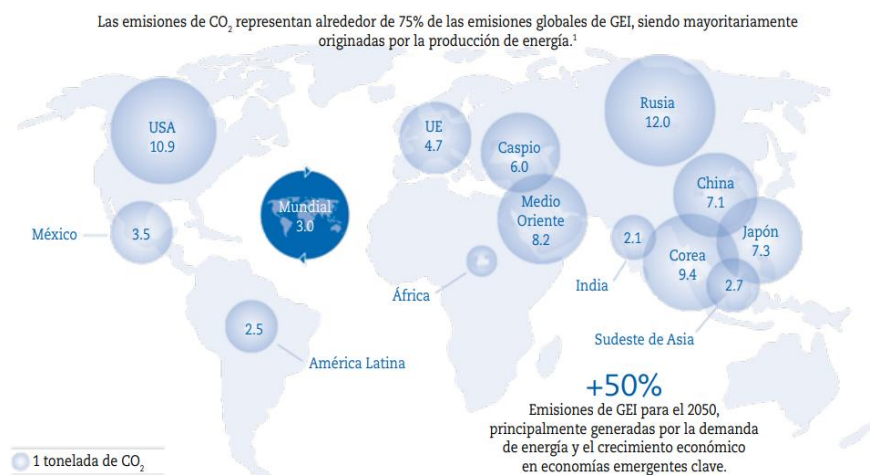
Figura 19. Evolución de la temperatura global superficial en relación con periodo de observaciones (1951-1980)



Fuente: DCC (2021).

En la figura 20 se observa, por país, la proyección de emisiones de CO₂ para 2030. La mayor parte corresponde al sector energía, el cual representa aproximadamente el 75% de los gases de efecto invernadero (GEI). Para mantener el aumento de la temperatura global dentro del límite de 2 °C hacia 2050, se prevén reducciones de GEI entre el 40% y el 70% (OCDE, 2015).

Figura 20. Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) per cápita relacionadas con la energía, 2030



Fuente: OCDE (2015).

El estudio de la OCDE (2015) señaló tres ámbitos clave de acción: la cooperación internacional, las estrategias de investigación y la perspectiva de multitud de actores. En el primer caso, la cooperación internacional resulta vital para encontrar soluciones en materia de investigación e innovación. Tanto la mitigación como la adaptación al cambio climático dependen en gran medida de la transferencia tecnológica.

En relación con el segundo ámbito, las estrategias de investigación, se reconoció que para alcanzar el escenario de 2 °C se requiere impulsar la innovación en tecnologías de energía. Esto implica apostar por un portafolio integral de tecnologías bajas en carbono y por soluciones orientadas a la descarbonización. También se identificó como preocupación la degradación ambiental ante la pérdida de biodiversidad. Para ese momento comenzaba además a tomar fuerza el concepto de “economía circular”, con implicaciones para el desarrollo de nuevas tecnologías, procesos, servicios y modelos de negocio.

En el tercer ámbito, se señalaba que alcanzar la meta de mantenerse por debajo de los 2 °C dependería del compromiso de los gobiernos para transitar hacia sociedades con menores emisiones de carbono. Se reconoció el papel del sector privado en liderar procesos de innovación, mediante herramientas como el internet de las cosas, las aplicaciones inteligentes y los sensores para mejorar el monitoreo del cambio climático, los ecosistemas y la biodiversidad. Este monitoreo debía ser participativo, con generación de datos e información para la investigación y la ciencia. Asimismo, se contemplaron tecnologías para captura de carbono, nanotecnología para la innovación en materiales, biotecnología para combustibles verdes y tecnologías de eficiencia energética aplicadas a los sectores industria, transporte y construcción (OCDE, 2015).

Entre los cambios asociados a esta megatendencia destaca la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, como olas de calor y precipitaciones más intensas y recurrentes. Se prevé un incremento de lluvias en los trópicos y latitudes altas, y una reducción en las zonas más secas. Los océanos continuarán calentándose y acidificándose, afectando los ecosistemas marinos. El nivel medio global del mar seguirá aumentando a un ritmo superior al registrado en las últimas cuatro décadas. En el Ártico persistirá el calentamiento acelerado, intensificando el deshielo y el derretimiento de glaciares (OCDE, 2015). Estos eventos climáticos, resultado tanto del cambio climático como de la variabilidad climática⁶, podrán manifestarse de forma extrema o mediante procesos más lentos (figura 21).

Figura 21. Eventos climáticos extremos y eventos de manifestación lenta



⁶Es generada por procesos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o por procesos antropogénicos (variabilidad externa) se mide por desviaciones, llamadas “anomalías” y puede ser mensual, estacional, inter-estacional o interanual. En Costa Rica una de ellas está relacionada con el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur, conocido también como el fenómeno ENOS. Durante la fase cálida se conoce como el Niño, cuando las aguas superficiales del Océano Pacífico Central y Oriental se calientan más de lo habitual, mientras que la Niña es la fase fría del fenómeno ENOS, donde se experimentan patrones fríos.

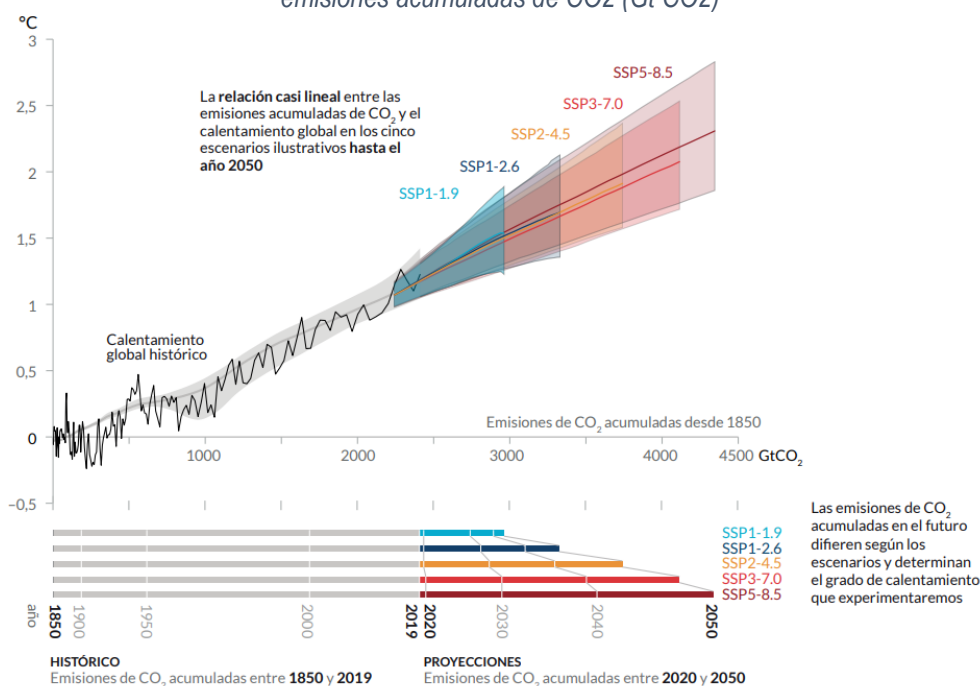


Fuente: DCC (2021).

El IPCC estableció diversos escenarios de cambio climático que perfilan el comportamiento de la sociedad según las acciones implementadas en cada uno. Estos escenarios permiten anticipar cómo podría variar el clima en el futuro en función de decisiones relacionadas con los patrones de consumo, el uso de la energía y de la tierra, el tipo de transporte y otros factores. A partir de ello se determina la cantidad de emisiones que llegará a la atmósfera y, en consecuencia, cómo cambiará el clima (DCC, 2021).

En el caso de los escenarios socioeconómicos (SSP), estos describen tendencias vinculadas con la demografía, la economía, las políticas e instituciones y el desarrollo tecnológico. A estos escenarios se suman los de emisiones, denominados Trayectorias de Concentración Representativas (RCP), que corresponden a descripciones de las posibles descargas de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (Tabla 30). En el Sexto Informe del IPCC, ambos tipos de escenarios se integran bajo la nomenclatura SSPX-RCPX.X, entre los cuales se encuentran: SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (figura 21).

Figura 22. Aumento de la temperatura global en superficie desde 1850–1900 (°C) en función de las emisiones acumuladas de CO₂ (Gt CO₂)



Fuente: IPCC (2021).

Tabla 30. Escenarios para medir el comportamiento del cambio climático

Escenarios socioeconómicos	
La trayectoria SSP1 (“sustentabilidad”) representa una situación en la que las emisiones globales son relativamente bajas y, por tanto, los retos de adaptación y mitigación son también bajos.	
En la trayectoria SSP2 (“intermedio”), ambos retos de mitigación y adaptación son importantes, aunque no implican situaciones severas.	
La trayectoria SSP3 (“fragmentación”), describe un escenario con instituciones débiles, donde las políticas se orientan hacia la seguridad nacional y regional. Existe un uso intensivo de recursos, incluyendo los combustibles fósiles, lo que presenta altos retos para la mitigación.	
En la trayectoria SSP4 (“desigualdad”), la tecnología avanza en los países desarrollados, pero no por igual, lo cual requiere un nivel alto de adaptación.	
La trayectoria SSP5 (“uso de combustibles fósiles”) representa un desarrollo en el que se concentran los esfuerzos en el desarrollo económico, al margen de las consecuencias ambientales.	

Fuente: DCC (2021).

Masificación del conocimiento y convergencia tecnológica

Siguiendo con los Desafíos Globales, el número 6 corresponde a la Convergencia Global de Tecnología de Información. Para este tema resulta necesario analizar cómo se configura el contexto mundial bajo este desafío, según la información presentada por el Proyecto Millennium. Con base en ello, se elaboró un breve resumen por región que permite visualizar algunos hitos relevantes en el escenario global (Tabla 31).

Por ejemplo, la regulación del uso de la IA es ya una realidad en la Unión Europea, que cuenta con legislación específica en esta materia y en la regulación de servicios y mercados digitales. Este panorama contrasta con otros contextos, particularmente en relación con el acceso a internet: tanto la Unión Europea como Norteamérica superan el 95% de hogares con acceso, a diferencia de las disparidades evidentes en otras regiones del mundo.

Tabla 31. Resumen de acciones por región en el ámbito de tecnologías de información

Regiones	Resumen de acciones
África	Alianza de países, organizaciones internacionales y sector privado global para el desarrollo digital del continente. Usuarios internet- 43% usa internet y 60% un teléfono móvil. Se necesita desarrollo de capacidades en análisis de datos, IA, minería de datos y otras habilidades cibernéticas. Gran mercado de remesas, la mitad de los 261 proveedores de servicios de dinero móvil están en África subsahariana. Se trabaja con políticas para la transformación digital.
Asia y Oceanía	Representan el 55% de usuarios de internet del mundo; población de India el 53,4% tiene acceso a internet; Japón pretende liderar con una sociedad superinteligente con el programa Japón 5.0; Bangladesh pretende ofrecer paquetes de internet ilimitado. En Corea del Sur los jóvenes tienen problemas de adicción a videojuegos. Singapur ha creado un marco de prueba de gobernanza de IA. India establecerá estaciones de gobierno electrónico en aldeas rurales.
Europa	Cobertura de internet en Europa del norte es la más alta del mundo con 98%. Cuentan con el programa de internet más seguro en 27 países para contrarrestar pornografía, pedofilia y acoso digital. Alemania está aumentando la inversión en IA. Rusia ha desarrollado una estrategia de IA para graduar profesionales en este conocimiento. En Países Bajos el 97% de los hogares tiene computador, y en Islandia el 96% de hogares internet. El Parlamento europeo cuentan con una Ley de IA (2023); Ley de servicios digitales y Ley de Mercados Digitales.
América Latina	Acceso a internet cerca del 68% de la población. La CEPAL trabaja en estrategias de digitalización para la región (39 estrategias). Se preparan planes para la digitalización del comercio, salud, educación y servicios sociales. Estudiantes en escuelas tienen una cobertura de internet de más del 75%.
Norteamérica	Acceso a internet 97% de Estados Unidos y el 94% de Canadá. Hogares con internet de alta velocidad 85% en Estados Unidos y 96% en Canadá. Silicon Valley sigue liderando en software de

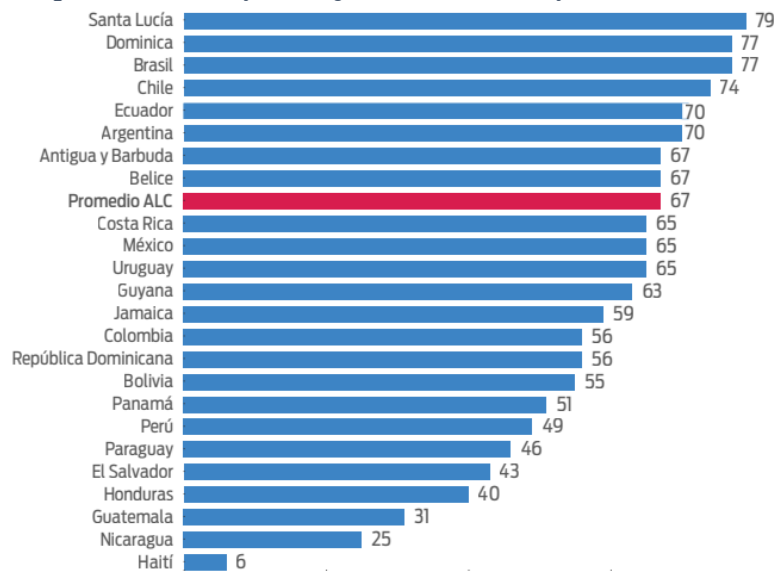
innovación. En el movimiento bélico, se espera más ataques cibernéticos, considerados más como una amenaza principal para la seguridad nacional de EE. UU,

Fuente: Millennium Project (2025).

Este desafío señala cifras relacionadas con el acceso a internet para 5.350 millones de usuarios en abril de 2024 a nivel mundial. Se estima que para 2035 la conexión alcanzará casi el 100%, junto con una mayor disponibilidad de la inteligencia artificial. En el caso de la IA, se destaca el avance de Estados Unidos, China y otros 26 países mediante la firma de la Declaración de Bletchley para colaborar en la seguridad futura de la IA. Asimismo, la Asamblea General de la ONU adoptó una resolución sobre seguridad de la IA impulsada por Estados Unidos, y otra resolución sobre cooperación en el desarrollo de la IA promovida por China (Proyecto Millennium, 2025).

No obstante, persisten disparidades significativas en el acceso a internet en América Latina. Srinivasan et al. (2022) señalan “brechas persistentes y significativas en infraestructura digital entre los países de la región, así como brechas importantes entre las zonas rurales y urbanas dentro de algunos países”. Según los resultados de la encuesta realizada en 2021 por investigadores del Banco Mundial y el PNUD, sobre el acceso y uso de internet en 24 países de América Latina (figura 23), se indica que “dos tercios de los hogares latinoamericanos tienen conexiones fijas a Internet, que son necesarias para facilitar transacciones de datos de alta capacidad, como llamadas de video para trabajar o estudiar” (Srinivasan et al., 2022).

Figura 23. Porcentaje de hogares con conexión fija a internet



Fuente: HFPS II del BM y PNUD en ALC (Ola 1), 2021. Cálculos de los autores.

Fuente: Srinivasan et al (2022).

El mundo digitalizado actual facilita el acceso al conocimiento sin que las fronteras o distancias representen una limitación. Este proceso ha brindado un valor agregado a productos y servicios mediante la democratización del acceso a internet y el desarrollo de herramientas de comunicación en línea. Tales transformaciones han modificado la forma de reproducir, difundir y acceder a la información. Por ello, se proyecta que para el año 2030 el 99% de la población mundial contará con acceso a internet (CEPLAN, 2015).

El concepto de convergencia alude a la diversidad de campos en los que se aplica y ha formado parte de la realidad de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) desde los años noventa. CEPLAN (2015) señala esta convergencia tecnológica como “causa y efecto de los cambios radicales generados durante estas

dos últimas décadas en la organización de la producción y distribución del conocimiento científico”. Se vincula con los “nichos de innovación”, con la ciencia, la tecnología y la industria, y con los procesos de I+D+i que convierten la acción científica en acción tecnológica. Por su parte, la OCDE (2016) plantea que “el cambio tecnológico es una megatendencia significativa por derecho propio, que reconfigura constantemente economías y sociedades, en ocasiones de manera radical”.

Las TIC han permitido una revolución digital al facilitar el acceso a grandes volúmenes de conocimiento a escala global, así como nuevas oportunidades de capacitación y aprendizaje. No obstante, esta misma apertura genera tendencias hacia su limitación debido a los riesgos asociados (CEPLAN, 2015).

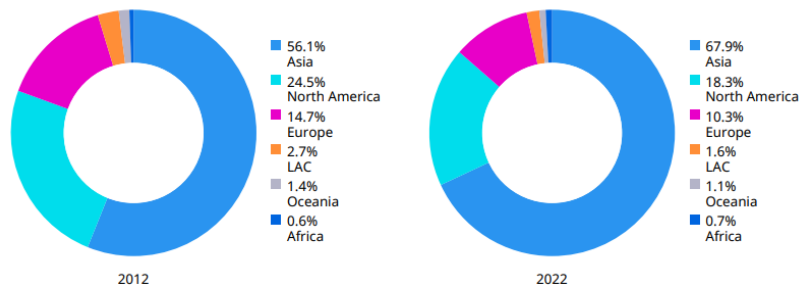
La masificación digital también incrementa la vulnerabilidad ante los delitos cibernéticos, los cuales pueden afectar a personas, empresas, gobiernos y mercados financieros. Como consecuencia, se prevé que la internet podría dejar de ser un espacio completamente abierto y transformarse en un conjunto de redes cerradas, controladas por distintos actores comerciales.

La convergencia tecnológica ha dado origen a nuevas tecnologías con alto potencial innovador en campos como la medicina, las telecomunicaciones, la manufactura, la energía, la producción de alimentos y la protección ambiental. Entre estas tecnologías destacan la nanotecnología, la biotecnología, las tecnologías de información y la ciencia cognitiva (NBIC, por sus siglas en inglés).

CEPLAN (2015) indica que, durante los próximos 15 a 20 años, las innovaciones en hardware, software y conectividad incrementarán la complejidad y capacidad de las tecnologías de información. Ello exige una actualización constante para enfrentar el cambio climático, mediante la optimización de la gestión del conocimiento y el fortalecimiento de herramientas y capacidades relacionadas con la resiliencia climática en infraestructura de transporte. El avance tecnológico permite apoyar la reducción de amenazas y riesgos en este ámbito.

Para identificar tendencias y señales débiles, resulta relevante analizar el comportamiento de las patentes y reconocer las tecnologías emergentes. El informe de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO) sobre la actividad global en materia de propiedad intelectual (2023) analizó las solicitudes de patentes entre 2012 y 2022. Asia concentró cerca del 68% de las solicitudes en 2022, seguida de Norteamérica con un 18%. América Latina representó únicamente el 1,6% (figura 24). Estos datos evidencian la concentración de la innovación en regiones desarrolladas. Adrisola (2019) señala que en 2013 Estados Unidos registró 159.000 patentes y Gran Bretaña 7.100, mientras que en 2015 toda América Latina y el Caribe registraron aproximadamente 836 patentes.

Figura 24. Solicitudes de patentes por región, 2012 y 2022



Fuente: WIPO, 2023. (World Intellectual Property Organization)

En el informe se destacan las solicitudes de patentes por campo tecnológico. Para el año 2021, la tecnología informática registra el mayor porcentaje, con un 11,1% del total mundial. Le siguen la maquinaria y los aparatos

eléctricos, así como el campo de la energía (6,4%); la medición (5,8%); la tecnología médica (5,2%); la comunicación digital (4,9%) y el transporte (4,2%). Cuatro de las seis áreas mayoritarias corresponden al campo de este estudio prospectivo. Estos datos evidencian la necesidad de una innovación constante (Tabla 32).

Tabla 32. Solicitudes de patente publicadas en todo el mundo por campo de tecnología, 2011, 2016 y 2021

Field of technology	Number of published applications			Share of total (%)	Average growth (%)	
	2011	2016	2021	2021	2011-2021	
Electrical engineering	Electrical machinery, apparatus, energy	125,162	190,881	219,345	6.4	5.8
	Audio-visual technology	74,794	80,653	102,694	3.0	3.2
	Telecommunications	51,153	56,184	57,313	1.7	1.1
	Digital communication	83,341	139,813	169,090	4.9	7.3
	Basic communication processes	15,874	16,509	17,587	0.5	1.0
	Computer technology	134,071	205,037	379,201	11.1	11.0
Instruments	IT methods for management	23,970	46,284	86,458	2.5	13.7
	Semiconductors	80,091	83,589	100,927	2.9	2.3
	Optics	62,104	69,351	74,361	2.2	1.8
	Measurement	78,744	132,066	198,784	5.8	9.7
	Analysis of biological materials	12,160	16,425	20,426	0.6	5.3
	Control	28,472	57,616	81,022	2.4	11.0
Chemistry	Medical technology	81,957	125,303	177,857	5.2	8.1
	Organic fine chemistry	54,375	66,906	65,999	1.9	2.0
	Biotechnology	42,702	58,426	79,392	2.3	6.4
	Pharmaceuticals	73,141	111,690	100,391	2.9	3.2
	Macromolecular chemistry, polymers	29,415	49,069	51,147	1.5	5.7
	Food chemistry	31,603	66,516	44,153	1.3	3.4
	Basic materials chemistry	47,849	84,621	71,481	2.1	4.1
	Materials, metallurgy	40,200	69,110	75,069	2.2	6.4
	Surface technology, coating	33,826	45,310	51,577	1.5	4.3
	Micro-structural and nano-technology	3,609	4,866	5,975	0.2	5.2
Mechanical engineering	Chemical engineering	39,579	67,133	116,341	3.4	11.4
	Environmental technology	27,103	48,467	67,159	2.0	9.5
	Handling	45,460	76,437	106,798	3.1	8.9
	Machine tools	47,120	81,063	119,194	3.5	9.7
	Engines, pumps, turbines	49,867	68,769	60,338	1.8	1.9
	Textile and paper machines	31,274	41,608	45,594	1.3	3.8
	Other special machines	53,103	99,017	126,521	3.7	9.1
	Thermal processes and apparatus	30,936	45,339	54,613	1.6	5.8
	Mechanical elements	47,790	74,859	76,898	2.2	4.9
	Transport	67,406	116,508	142,329	4.2	7.8
Other fields	Furniture, games	42,938	70,571	78,600	2.3	6.2
	Other consumer goods	34,268	53,581	63,428	1.9	6.4
	Civil engineering	59,353	98,443	131,395	3.8	8.3
	Unknown	3,659	5,164	6,469	0.2	5.9
Total	1,788,469	2,723,184	3,425,926	100.0	6.7	

Fuente: WIPO (2023).

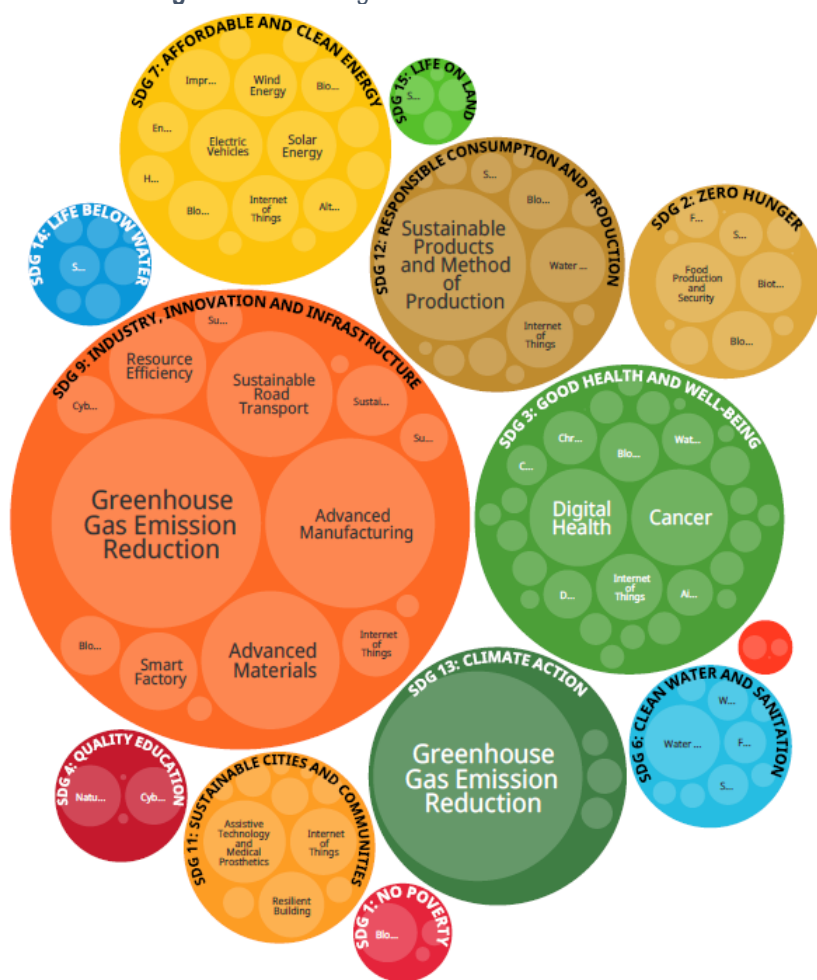
Bajo otro enfoque, la WIPO clasificó las patentes según los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el informe “Mapeo de innovaciones: patentes y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)”⁷. Con este documento se vincula la innovación con los esfuerzos de la agenda internacional orientados a alcanzar el desarrollo sostenible. El análisis presentó resultados relevantes en cuanto al volumen de patentes y de propiedad intelectual, con

⁷ Título en inglés “Mapping Innovations Patents and the Sustainable Development Goals”.

tendencias de desarrollo alineadas a los ODS. Se destaca que casi una de cada tres familias de patentes activas en el mundo (31,4%) se relaciona con los ODS. En el caso de los ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y 13 (Acción Climática), vinculados con el tema central del presente estudio prospectivo, son los que concentran el mayor número de patentes, junto con el ODS 3. Esta tendencia evidencia una actividad de innovación significativa, en contraste con los objetivos de carácter más socioeconómico, cuya generación de patentes resulta más limitada (WIPO, 2023).

Con respecto al ODS 9, se identifica como el objetivo con el volumen más alto de patentes y abarca desarrollos en electrónica, fabricación y materiales. El ODS 13 también presenta un crecimiento notable en patentes orientadas a tecnologías destinadas a frenar las emisiones de gases de efecto invernadero. A su vez, el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) muestra avances en fuentes renovables como la energía solar y eólica, lo que refleja un énfasis creciente en alternativas más limpias. La siguiente gráfica presenta las tecnologías clasificadas por ODS (figura 25).

Figura 25. Tecnologías vinculadas con los ODS

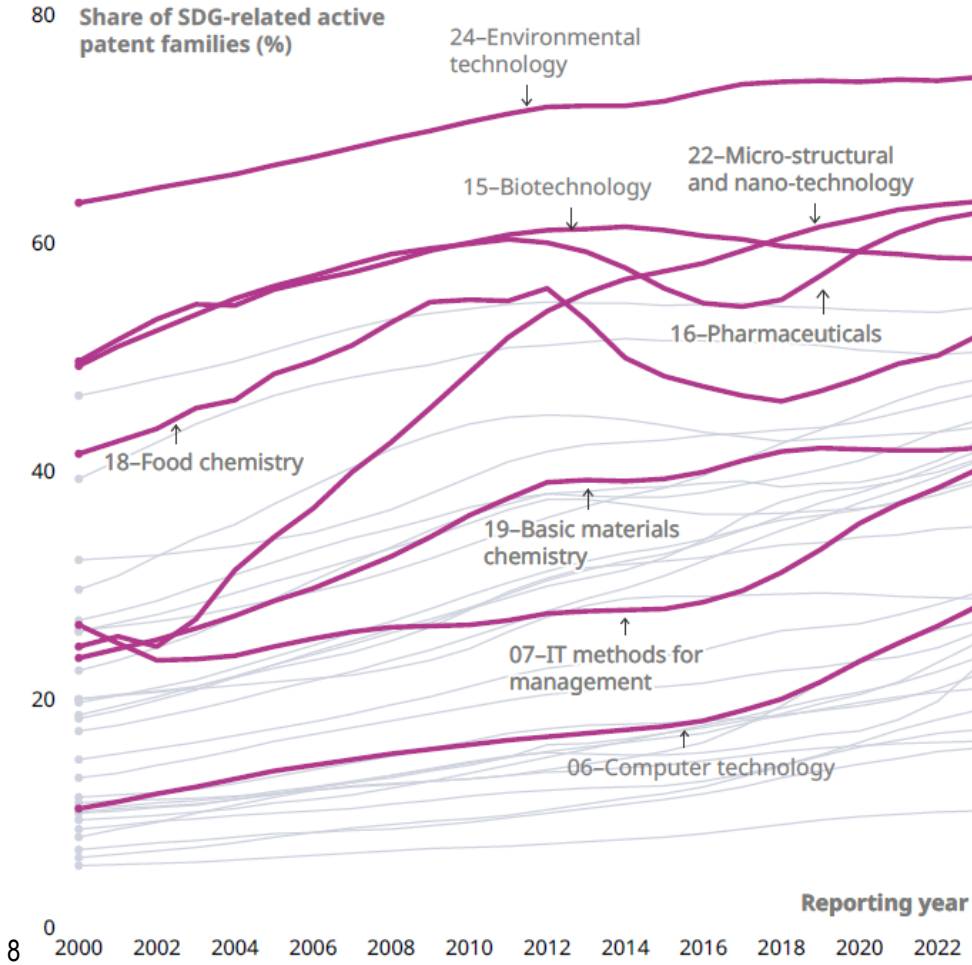


Fuente: Wipo (2023).

En síntesis, la figura destaca tecnologías emergentes en internet de las cosas (IoT), vehículos eléctricos, energías limpias, reducción de emisiones, fabricación inteligente, materiales y manufactura avanzada, transporte sostenible, eficiencia de recursos e infraestructura resiliente.

Finalmente, la evolución registrada se aprecia en la Figura 26. En primer lugar, aparecen las tecnologías ambientales, que concentran el 75% de las familias de patentes. En segundo lugar, se ubican las tecnologías de microestructura y nanotecnología, cuyo crecimiento ha sido significativo desde 2002, particularmente a partir de 2018, cuando superaron a las familias de patentes de los sectores farmacéutico y biotecnológico. De esta manera, alcanzaron el segundo puesto, por debajo únicamente de las tecnologías ambientales, que mantienen el liderazgo con el 75%.

Figura 26. Proporción de familias de patentes activas relacionadas con los ODS en los ámbitos tecnológicos de la OMPI, 2000-2023



Fuente: WIPO (2023).

Tendencias y señales débiles

Las tendencias muestran cómo podría configurarse el futuro. Se consideran fuerzas motrices que se han desarrollado en el pasado y cuyo impulso las proyecta hacia adelante. En algunas ocasiones, ese impulso es liderado por la tecnología (Mojica, 2010). En este caso, las tendencias adquieren un peso considerable en la lucha climática, tanto en las acciones de adaptación como en las de mitigación. El enfoque político global, especialmente el de las grandes potencias, también influye de manera determinante en la dinámica climática. Por esta razón, forma parte de los elementos que deben analizarse.

En cuanto a las señales débiles, se entienden como fenómenos emergentes y pequeños cambios que comienzan a aparecer en noticias o plataformas de consulta y que logran captar la atención. No constituyen una tendencia, aunque podrían transformarse en una en el futuro. Su aporte principal radica en que amplían el pensamiento estratégico y permiten imaginar múltiples opciones de futuros alternativos. Se caracterizan por su novedad, capacidad de sorpresa y potencial para desafiar los supuestos actuales. Además, resultan relevantes por la posibilidad que tienen de generar impactos significativos en el futuro.

Orden político mundial

En el último quinquenio se han producido movimientos políticos de gran magnitud. La pandemia de COVID-19 desencadenó cambios significativos, entre ellos la expansión del teletrabajo. También se han intensificado los efectos de la guerra en Ucrania y las posturas geopolíticas asociadas, dando lugar a una polarización entre bloques políticos. En medio de este escenario, la crisis climática continúa avanzando. Ante este panorama, resulta necesario analizar el papel fundamental de las políticas públicas y de la seguridad energética a escala mundial.

En el contexto global también se observa el crecimiento acelerado de las industrias y de las economías emergentes, así como el aumento de la población. En los últimos 50 años, la densidad poblacional pasó de 25 p/km² a 51 p/km². A ello se suma la competencia por los recursos naturales y el incremento en el consumo de energía, lo cual representa un desafío para los países en desarrollo y para los países industrializados (Yousefi et al., 2023).

Con la crisis climática como telón de fondo, los acuerdos alcanzados en la primera Conferencia de las Partes (COP) de 1992 establecieron el compromiso mundial de mantener el calentamiento global por debajo de 1,5 °C. El objetivo consiste en reducir gradualmente los subsidios a la energía del carbón y a los combustibles fósiles, como parte de la transición energética. Bajo esta coyuntura, se vuelve necesario analizar las visiones de los distintos grupos políticos.

Yousefi et al. (2023) desarrollaron un modelo predictivo mediante el método de series temporales Holt-Winter⁸ para estimar el desempeño de los países hacia 2040. Además, aplicaron un análisis multicriterio para comparar dicho desempeño entre el año base y el año proyectado. El estudio incorpora seis criterios para evaluar los perfiles energéticos y ambientales: tres vinculados con el ámbito energético (intensidad energética, importación de energía y uso de recursos renovables) y tres relacionados con el medio ambiente (emisiones de gases de efecto invernadero, emisiones de CO₂ e intensidad de las emisiones de CO₂).

Yousefi et al. (2023) describen dos grupos de países. El primero está conformado por las naciones industrializadas occidentales que han mantenido una influencia tradicional en la política y la economía mundial. Este grupo se identifica con la abreviatura G7 e incluye a Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Francia,

⁸ El modelo Holt-Winters es un método en la predicción a largo plazo. Se sugirió como método compensador un modelo KEMIRA para equilibrar la prioridad de criterios.

Alemania, Italia y Japón. El segundo grupo corresponde a los países BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica, incorporado en 2011), integrados por naciones de cuatro continentes distintos.

La investigación de Yousefi et al. (2023) evidencia las responsabilidades políticas y las visiones gubernamentales, y revela hallazgos de especial interés, tal como se detalla a continuación:

los países BRICS sobresalieron con un mayor énfasis en la energía renovable para la clasificación, mientras que las economías desarrolladas del G7 mostraron un mejor desempeño en el año base con una mayor contribución de la intensidad energética en el ordenamiento. Las recomendaciones para las economías maduras incluyen priorizar los impuestos ambientales, invertir en tecnologías limpias, adoptar la economía circular y asegurar las cadenas de suministro de minerales esenciales. Para los países BRICS, se recomienda una transición energética equilibrada, aprovechando el gas natural como combustible de transición, financiando las energías renovables y promoviendo la captura de carbono, los vehículos eléctricos y las tecnologías de hidrógeno.

Ambos grupos, según detallan Yousefi et al. (2023), “incluyen 11 motores económicos de las 12 potencias mundiales, mientras que los países del G7, con casi el 50% del PIB total y más del 60% del capital neto del mundo, buscan una política para contener a China y Rusia”. Asimismo, señalan que “en los últimos 15 años, los países BRICS han experimentado un aumento significativo de tres veces en su participación en el PIB mundial, lo que indica un fuerte impulso en su crecimiento y desarrollo”. Este comportamiento genera interés en la comunidad científica respecto del uso sostenible de los recursos naturales.

El resultado del estudio se presenta en la figura 27, tomando como referencia el año proyectado 2040. Los grupos G7 y BRICS muestran en la primera columna el conjunto de decisiones del año base y, en la segunda, la proyección para 2040. En las posiciones iniciales se ubicaban cuatro países del G7 (en rojo), con un nivel más alto que los países BRICS (en azul), salvo el caso de Brasil, que destaca en biocombustibles y energía hidroeléctrica. En esa comparación inicial lideraban Gran Bretaña e Italia, mientras que Rusia y China ocupaban los últimos lugares. En la proyección para 2040, las posiciones se invierten, fenómeno que resulta relevante para el análisis prospectivo.

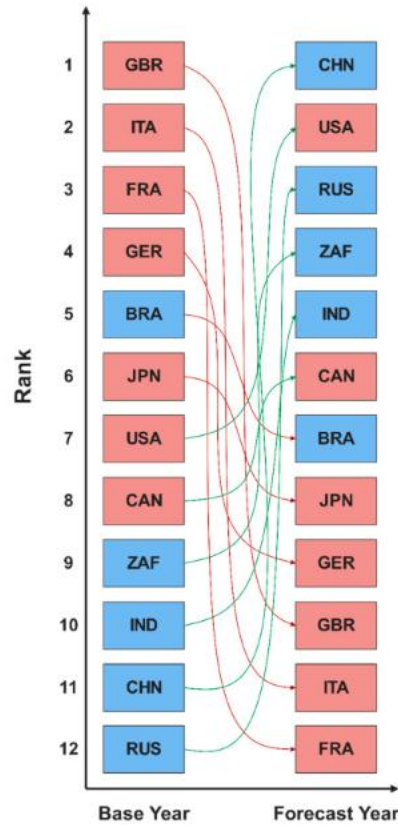
Para 2040, la posición de Brasil desciende. Los investigadores señalan que el país debe combatir la deforestación, preservar la biodiversidad y promover una mayor inversión en energía renovable para proteger los ecosistemas. En el caso de China, tradicionalmente dependiente del carbón y del petróleo, se observa una transformación profunda. Yousefi et al. (2023) indican (para el 2040) que “el desarrollo de energías renovables ha experimentado un impresionante aumento del 1000 % en la última década... el país es líder en células solares, baterías de iones de litio y vehículos eléctricos... está reduciendo activamente su dependencia del carbón, promoviendo el uso de gas natural e impulsando avances en energías limpias”. Con estos cambios, China se posiciona como un actor comprometido con la sostenibilidad y como un motor clave del panorama energético mundial.

En el bloque BRICS, se identifica una orientación colectiva hacia la transición energética, lo cual muestra un movimiento coordinado en materia de políticas, según el pronóstico señalado por Yousefi et al. (2023):

El gas natural es un combustible de transición crucial. Rusia desempeña un papel importante, exportando gas a India y China, lo que fortalece la cooperación. En colaboración con China, Rusia optimiza sus industrias, implementa planes de captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS) y explora la producción de hidrógeno. La integración de la energía solar en el Lejano Oriente ruso se alinea con una economía baja en carbono. Los vastos bosques ofrecen oportunidades de colaboración y transferencia de tecnología de biomasa, con Brasil como pionero en bioenergía.

La experiencia brasileña en biocombustibles y vehículos híbridos genera oportunidades en Asia y Sudáfrica. Sudáfrica debería diversificar su matriz energética, impulsando la transición energética. La cooperación con Brasil en biocombustibles a partir de caña de azúcar, con el apoyo de las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CAC) de China, allana el camino para una sólida colaboración y nuevos horizontes.

Figura 27. Comparación de la clasificación final de los países en los años base y de año pronóstico



Fuente: Yousefi, et, al (2023).

En el caso del G7, el Reino Unido enfrenta dificultades para implementar políticas energéticas sostenibles de manera sólida. Italia impulsa incentivos para mejorar la eficiencia energética, aunque enfrenta desafíos internos adicionales. Francia reduce su intensidad energética, pero encuentra limitaciones en el desarrollo de energías renovables. Alemania mantiene un compromiso con la energía renovable y avanza en la reducción gradual de la energía nuclear y del uso de carbono; además, su seguridad energética a largo plazo requiere superar condicionamientos políticos. Japón ha diversificado sus fuentes de energía y disminuido las emisiones provenientes del carbón (Yousefi et al., 2023).

En las primeras posiciones del G7 se ubican Estados Unidos y Canadá. Este último muestra ventajas derivadas de la energía hidroeléctrica y nuclear, así como del consumo de electricidad limpia y del impulso a tecnologías de captura y almacenamiento de carbono y de hidrógeno verde, consideradas esenciales para la transición energética. En cuanto a Estados Unidos, el estudio señala que el país orienta sus esfuerzos hacia:

La revolución del gas de esquisto estadounidense transformó la política energética, priorizando la seguridad energética y la transición al gas natural en la producción de electricidad. Dada su visión como nación orientada a la exportación de energía, Estados Unidos desempeña un papel crucial en la definición de las políticas del G7. Al apoyar la financiación, la investigación, la cooperación ejecutiva y la coordinación en foros sobre cambio climático, Estados Unidos puede influir significativamente en la transición energética global (Yousefin et al., 2023)

Finalmente, la investigación subraya una idea estratégica relevante para el futuro:

La importancia de la seguridad energética ha crecido durante la recuperación posterior a la COVID-19, y la guerra en Ucrania ha aumentado la urgencia para las economías avanzadas. El uso de las exportaciones de gas por parte de Rusia como herramienta política la llevó a buscar alianzas con países clave del BRICS, como India y China. Mientras tanto, las economías occidentales, lideradas por Estados Unidos, están adoptando la cooperación internacional para la transición energética. Este enfoque implica a los países en desarrollo como socios en la cadena de suministro de energía limpia, redefiniendo la seguridad energética más allá de la manipulación y la geopolítica. Al priorizar la colaboración y el beneficio mutuo, establece un nuevo paradigma inclusivo para la energía sostenible.

Ciencia abierta como movimiento en la transferencia libre de conocimiento

La accesibilidad de los datos y de la información ha evolucionado progresivamente. En 1999, durante la Conferencia Internacional de las Ciencias del siglo XX, se destacó la importancia de la apertura del conocimiento científico y de la ciencia como un servicio para el desarrollo. Posteriormente, entre 2002 y 2003, las Declaraciones de Budapest, Bethesda y Berlín establecieron las condiciones necesarias para considerar una publicación como acceso abierto.

Esta evolución sentó las bases para orientar la Ciencia Abierta como una estrategia centrada en el conocimiento científico abierto y en el acceso a la información disponible en publicaciones académicas. Paralelamente, la OCDE formuló en 2006 directrices para el acceso a datos de investigación financiados con fondos públicos. Dichas directrices promovían el acceso y el intercambio de datos entre investigadores, instituciones y agencias nacionales, teniendo en cuenta la normativa vigente en cada país. En esa etapa se señalaban desafíos relacionados con la interoperabilidad técnica, así como con aspectos legales y políticos vinculados con los derechos de propiedad intelectual y la protección de la vida privada (CORDIS, 2007).

En 2014, la Comisión Europea desarrolló la consulta pública “Ciencia 2.0, Ciencia en transición”, entendida como un cambio en la forma de realizar y organizar la investigación, impulsado por las tecnologías digitales y por la globalización de la comunidad científica. Ese mismo año, la Red de Ciencia Abierta y Colaborativa para el Desarrollo (OCSDNet), conformada por investigadores de América Latina, África, Medio Oriente y Asia, presentó siete principios orientadores:

1. **Promover el conocimiento como bien común**, entendido como un recurso que crece al compartirse. La ciencia debe crear mecanismos e incentivos que permitan decidir cómo se utiliza, comparte, gobierna y gestiona el conocimiento para atender las necesidades de desarrollo.
2. **Integrar diversas tradiciones científicas y formas de saber**, reconociendo la pluralidad como un valor central de la ciencia abierta y colaborativa. La inclusión reconoce la capacidad de todos los actores para utilizar, crear y compartir conocimiento.
3. **Reconocer el papel del poder y de la desigualdad en la producción y distribución del conocimiento**, prestando atención al contexto, a las relaciones de poder y a las desigualdades estructurales que condicionan tanto el acceso como la producción científica.

4. **Crear oportunidades de participación en todas las etapas del proceso de investigación**, a partir del derecho a la investigación y del llamado a participar en igualdad de condiciones en todas las fases.
5. **Favorecer la colaboración equitativa entre científicos y actores sociales**, facilitando la creación de conocimiento conjunto mediante laboratorios ciudadanos.
6. **Incentivar mecanismos inclusivos de información y comunicación**, garantizando que la infraestructura, herramientas, plataformas y tecnologías de investigación sean accesibles para personas con diversas capacidades.
7. **Mejorar el bienestar social y ambiental**, considerando que la ciencia debe orientar soluciones sostenibles e innovadoras a necesidades sociales y medioambientales.

En un contexto posterior a la pandemia, cuando la transferencia del conocimiento debía acelerarse para responder a la urgencia sanitaria, la UNESCO, la OMS y la Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos emitieron en 2020 un llamado conjunto en favor de una ciencia abierta, inclusiva y colaborativa, apoyándose en el artículo 27 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos (Minciencias, 2021).

Para 2021, el documento “Perspectivas de la OCDE sobre ciencia, tecnología e innovación: tiempos de crisis y oportunidades”, destacó que la pandemia de COVID-19 exigió un esfuerzo significativo por parte de la ciencia, la tecnología y la innovación. Como resultado, se amplió el acceso a publicaciones científicas, se incrementó el uso de herramientas digitales, se fortaleció la colaboración internacional en CTI y se promovieron nuevas asociaciones público-privadas (Minciencias, 2021).

En paralelo, el desafío del cambio climático demanda colaboración internacional para generar soluciones oportunas. A pesar de esta necesidad, en 2023 aproximadamente el 60% de los artículos publicados en la última década sobre cambio climático y casi el 50% de los relacionados con biodiversidad permanecían tras barreras de pago (Nair-Bedouelle, 2023).

La UNESCO define la Ciencia Abierta como “un movimiento que pretende hacer la ciencia más abierta, accesible, eficiente, transparente y beneficiosa para todas y todos. Impulsado por los avances sin precedentes en nuestro mundo digital, la transición hacia la ciencia abierta permite que la información, los datos y los productos científicos sean más accesibles y más fácilmente compartidos con la participación activa de todas las partes interesadas” (Nair-Bedouelle, 2023).

Ante la urgencia climática, la ciencia abierta favorece las redes de colaboración, la inclusión de nuevos actores sociales en el proceso científico, la democratización del conocimiento y la lucha contra la desinformación, orientando la investigación hacia la resolución de problemas de relevancia social.

En 2021, el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Colombia analizó los procesos estructurales desarrollados por países como Finlandia, Holanda, España, Francia y Portugal, identificando avances en la apertura de publicaciones, datos, métodos e infraestructuras de investigación; en los servicios de apoyo; en los sistemas de reconocimiento e incentivos; en la promoción de la ciencia abierta; en la colaboración público-privada; en la divulgación científica; en la transferencia de conocimiento en salud; y en plataformas tecnológicas y de servicios (Minciencias, 2021).

En América Latina destaca el caso colombiano. Desde 2019 adoptaron lineamientos para una Política de Ciencia Abierta orientada a promover la creación y el uso de infraestructuras digitales que faciliten los componentes de la ciencia abierta y que fomenten nuevos conocimientos, productos y procesos para atender desafíos sociales y ambientales.

En 2022, Colombia promulgó la Política Nacional de Ciencia Abierta, adoptada el 3 de agosto, cuyo objetivo principal consiste en “aumentar el acceso, la visibilidad, la reproducibilidad y la utilidad de los datos, recursos, productos y resultados científicos, tecnológicos y de innovación colombianos, ampliando la formación, apropiación, institucionalización y las infraestructuras de Ciencia Abierta del país” (Minciencias, 2022).

Resiliencia climática

El concepto de resiliencia, según la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, se define como “la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas”. En consonancia con esta definición, la Comisión Nacional de Emergencias (CNE) de Costa Rica añade que la resiliencia implica una capacidad humana para enfrentar eventos adversos, superarlos y preservar o restaurar las estructuras y funciones esenciales. Asimismo, destaca una dimensión transformativa orientada a generar cambios en el entorno amenazante. De acuerdo con la CNE, la capacidad resiliente “no solo es producto de condiciones internas de los sistemas, sino también de la red de relaciones con otros sistemas, comunidades o sociedades que constituyen un apoyo en situaciones de crisis” (CNE, 2015, p. 30).

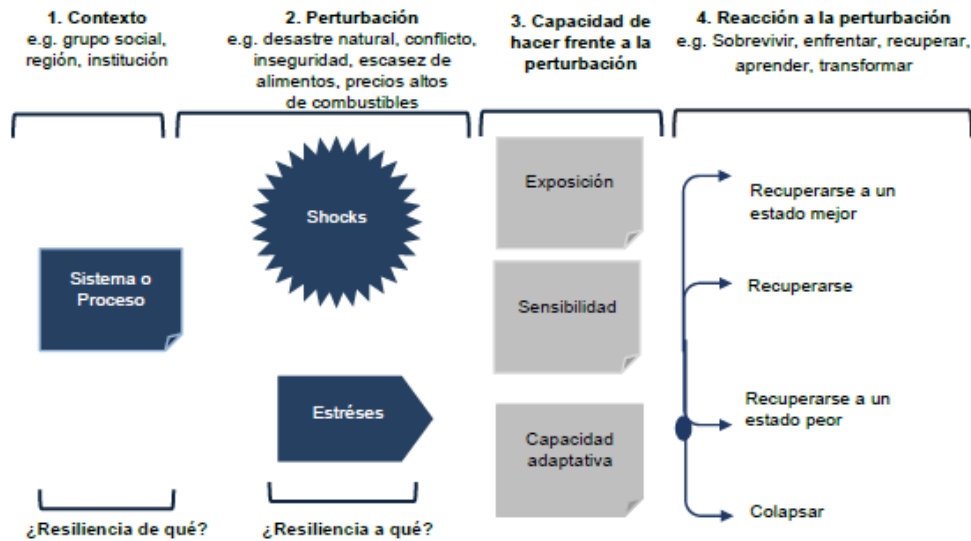
Para Weikert (2021), la resiliencia es “la capacidad que tiene un sistema de pasar por un proceso de cambio – en general ocasionado por una perturbación– mientras mantiene sus funcionalidades esenciales”. En su análisis, el autor recopiló diversas definiciones provenientes de organismos internacionales y destacó la formulada por el Centro Regional por los Derechos del Niño (CREDEN-Chile). Esta definición enfatiza la exposición a amenazas de origen natural y la capacidad de “anticiparse, resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, para lograr la preservación, restauración y mejoramiento de sus estructuras, funciones básicas e identidad”, subrayando la importancia de la identidad como parte del logro de la resiliencia.

La resiliencia se aplica a diferentes escalas de riesgo, como personas, viviendas, comunidades, instituciones o Estados. En la figura 28 se parte de dos elementos fundamentales: identificar el sujeto (la resiliencia de qué o de quién) y el objeto de análisis (resiliente a qué). Esto implica delimitar con claridad el sistema bajo estudio. Por ejemplo, en el caso de la infraestructura de obra pública y los servicios de transporte, el análisis debe considerar el tipo de perturbación a la cual está expuesto el sistema y los efectos frente a los cuales debe anticiparse o reaccionar. En este contexto, la infraestructura de transporte resiliente al clima requiere la capacidad de resistir eventos climáticos extremos, mientras que la administración del sistema debe contar con la capacidad de recuperarse ante un desastre natural de manera oportuna y eficaz, a fin de mantener sus funcionalidades esenciales y manifestar su resiliencia (Figura 28).

La Cumbre de la Acción Climática de la ONU de 2019 acordó la iniciativa denominada “Llamado a la acción sobre adaptación y resiliencia”, respaldada por 130 países. Junto con esta iniciativa se aprobó la Coalición para la Inversión Resiliente al Clima (CCRI), cuyo eje central es la adaptación y que plantea integrar el riesgo climático como base para la construcción del futuro.

En el caso del “Llamado”, la iniciativa buscó fortalecer la capacidad de adaptación y resiliencia frente al cambio climático. Los líderes firmantes reconocieron que, además del compromiso de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), resulta necesario trabajar en la adaptación a los impactos climáticos para crear condiciones de resiliencia a futuro. Esta posición se alinea con lo expuesto por el Informe Especial del IPCC, que insta a redoblar esfuerzos en adaptación climática. El informe estima que, para 2031, los países en desarrollo enfrentarán un costo aproximado de 300.000 millones de dólares. En consecuencia, las decisiones deben centrarse en medidas integrales de adaptación climática que abarquen a las personas, las economías, el medio ambiente y la infraestructura.

Figura 28. Representación de la perspectiva holística de la resiliencia



Fuente: Weikert (2021).

En cuanto a la CCRI, esta fue planteada en 2019 con el propósito de transformar la inversión en infraestructura mediante la integración de los riesgos climáticos en la toma de decisiones. Para ello se estableció la necesidad de definir criterios económicos y financieros que orienten las inversiones resilientes al clima, con el fin de fortalecer un sector financiero más preparado ante riesgos futuros.

Respecto del enfoque social de la resiliencia climática, resulta pertinente lo indicado por el experto Carlos Picado, de la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica. El especialista subraya el carácter práctico del concepto dentro de los instrumentos de política pública. En el ámbito de la infraestructura señala que “debe ser una resiliencia orientada en la contribución de valor público, es decir, la resiliencia en infraestructura debe brindar beneficio social; debe ser una infraestructura que contribuya a la resiliencia de un sistema. No se trata de ver la infraestructura vial como el sistema que debe protegerse, sino de verla como el factor que contribuye a la resiliencia de las personas, como sistema social. La resiliencia es un concepto para asegurar que la infraestructura mantenga su funcionalidad a pesar de eventos críticos, manteniendo el beneficio para la población” (Reunión en MOPT, 14 de diciembre de 2022).

En síntesis, se requiere una gestión del riesgo y de los desastres que permita identificar riesgos, formular recomendaciones e incorporar medidas adecuadas en cada etapa del ciclo de proyectos (diseño, implementación, operación y mantenimiento) de la obra pública en infraestructura de transporte. El objetivo consiste en generar una resiliencia adecuada que permita anticiparse, resistir, absorber, adaptarse o recuperarse frente a los efectos de los desastres, de manera que la infraestructura mantenga su funcionalidad para el uso y aprovechamiento de la población.

Infraestructura resiliente

Generar infraestructura resiliente permite fortalecer la resiliencia de las personas. Montes y Piñeiro (2020) indican que “una infraestructura con perspectiva resiliente se materializa en obras mejor planeadas, pero su principal efecto es en beneficio de las personas y sus familias”. Añaden que la resiliencia en la infraestructura corresponde a “la capacidad de los sistemas de infraestructura para funcionar y satisfacer las necesidades de los usuarios durante y después de un peligro natural”. Bajo esta perspectiva, se deben considerar tres dimensiones: la resiliencia de los activos (carreteras, puentes, torres de telefonía, entre otros), la resiliencia de

los servicios (como transporte público o servicios de emergencia) y la resiliencia de los usuarios, entendida desde la continuidad del servicio público.

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) señala que contar con infraestructura resiliente resulta fundamental para alcanzar el desarrollo sostenible, al constituir un pilar del desarrollo social, económico y ambiental. Este concepto se vincula con la noción de infraestructura crítica, entendida como aquella cuya falla genera impactos severos en el desarrollo de los pueblos.

La UNDRR destaca que “la infraestructura proporciona servicios críticos a las comunidades, apoyando funciones económicas y sirviendo como primera línea de defensa contra conmociones y desastres. A medida que la intensidad y la frecuencia de los riesgos siguen aumentando, las perturbaciones de los sistemas de infraestructura son cada vez más frecuentes, lo que genera importantes costos económicos y sociales”.

La resiliencia constituye un componente implícito cuando se habla de infraestructura adaptativa en el contexto de la lucha climática. La infraestructura resiliente garantiza la continuidad de los servicios públicos y facilita los flujos económicos, sociales y ambientales. Desde el diseño de la obra pública, el enfoque de adaptación exige reducir la vulnerabilidad actual y futura, moderar los daños derivados de eventos extremos y contemplar el análisis del riesgo. En el caso de infraestructuras construidas antes de la adopción de este enfoque, las autoridades deben gestionar los riesgos presentes y futuros, planificar la reducción de vulnerabilidades y prepararse para enfrentar eventos adversos (comunicación verbal, Rodolfo Sandí Morales, 30 de julio de 2025). El enfoque adaptativo permite además aprovechar oportunidades para fortalecer la resiliencia de los sistemas en las dimensiones económica, social y ambiental, y a distintas escalas territoriales.

El diseño de una obra pública responde a normas constructivas estrictas que consideran los fenómenos naturales en todas las fases del proyecto. En la etapa de preinversión se evalúan los riesgos y los posibles fenómenos a los que podría estar expuesta la infraestructura. Por esta razón, cada proyecto debe contar con una matriz de riesgos que incluya tsunamis, marejadas extraordinarias, desbordes de ríos, deslaves, entre otros. Todo lo anterior implica costos financieros. En consecuencia, la infraestructura resiliente integra medidas adecuadas de administración del riesgo. Incluso si el riesgo llega a materializarse, se parte del principio de rigor técnico con el que fue construida. Frente a un evento adverso, la infraestructura resiliente resiste, puede presentar daños y ser reparada, pero mantiene su funcionalidad esencial y contribuye a la salvaguarda de la población (comunicación verbal, Rodolfo Sandí Morales, 30 de julio de 2025).

La UNDRR plantea una serie de recomendaciones para promover infraestructura resiliente:

- Adoptar normas y estándares mundiales, como los Principios para una infraestructura resiliente, que integren la resiliencia en la planificación, gestión y financiamiento de proyectos.
- Garantizar mediciones y monitoreos precisos de la exposición y la vulnerabilidad de los sistemas de infraestructura.
- Tomar decisiones de inversión basadas en información de riesgo.
- Identificar una cartera de proyectos orientados a la infraestructura resiliente.

Los Principios para una infraestructura resiliente destacan los siguientes elementos: a) Transformación adaptativa, que implica diseñar obras con capacidad de adaptación al entorno cambiante y con flexibilidad para la toma de decisiones ante eventos disruptivos; b) Integración ambiental, que considera el entorno natural, promueve soluciones basadas en la naturaleza y minimiza los daños ambientales; c) Protección mediante el diseño, orientada a prever los riesgos que podrían afectar la infraestructura; d) Compromiso social, que invita a valorar los impactos de las acciones sobre otras personas y a incorporarlos en el diseño; e) Responsabilidad compartida, enfocada en fortalecer la comunicación entre los grupos sociales y la formación en gestión del

riesgo; f) Aprendizaje continuo, que demanda evaluaciones permanentes e intervenciones oportunas (UNDRR, 2021).

Transición energética

La transición energética constituye una tendencia asociada a las acciones de mitigación frente al cambio climático. Esta tendencia impulsa cambios en los comportamientos sociales, lo que explica el origen de los escenarios socioeconómicos climáticos (SSP). En esta línea se promueve un consumo responsable de energía en todos los ámbitos, así como una mayor conciencia sobre los patrones de consumo y los cambios culturales vinculados con la forma en que se utiliza la energía disponible.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2025) define la transición energética como un “...cambio transformador en la forma de producir, distribuir y consumir energía, con el objetivo de dejar atrás los combustibles fósiles y adoptar un sistema que se base en fuentes de energía renovables, como la solar, la eólica, la hidroeléctrica y la geotérmica”. El organismo aclara que la transición energética implica más que la adopción de fuentes limpias. También exige mejorar la eficiencia energética mediante tecnologías avanzadas que incluyan sistemas de almacenamiento de energía y la descarbonización de sectores como la electricidad, el transporte y la industria.

En el marco del Acuerdo de París, el principal desafío para los países consiste en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para mantener la temperatura global preferiblemente por debajo de 1,5 °C. El PNUD (2025) explica que el cumplimiento de esta meta depende “de la capacidad del sector energético en alcanzar cero emisiones netas para 2050 (...) cuya emisión de carbono derivada del uso de combustibles fósiles y los procesos industriales sea mínima o nula antes de 2050”.

Según estimaciones del PNUD (2025), basadas en los compromisos presentados en la 28.^a Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP), celebrada en 2023 en Dubái:

Los compromisos actuales, como los de la COP28, podrían reducir las emisiones en un 3 % para 2030 y en un 51 % para 2050, en comparación con los niveles de 2022. A este ritmo, las emisiones mundiales relacionadas con la energía alcanzarían los 35.200 millones de toneladas de dióxido de carbono (35,2 gigatoneladas de dióxido de carbono) en 2030, muy por encima de las 23 gigatoneladas necesarias para mantener el mundo en el rumbo de los 1,5 °C. Aunque esto representa cierto progreso, está muy lejos de lo necesario para evitar los efectos más catastróficos del cambio climático.

En el proceso de transición energética se incorporan las nociones de equidad y justicia, considerando las consecuencias que produce la reducción del uso de combustibles fósiles, especialmente en la pérdida de fuentes de empleo que afecta a comunidades socialmente vulnerables. De manera paralela, la transición impulsa la creación de empleos verdes orientados hacia la justicia social, ambiental y económica. Este equilibrio resulta viable si los países trabajan simultáneamente en mitigar los efectos negativos mediante cambios normativos, tecnológicos y financieros que favorezcan un desarrollo sostenible.

En relación con la expansión de las energías renovables, se estima que para 2050 podrían representar más del 90 % de la generación mundial de electricidad. Este escenario abre la posibilidad de alcanzar cero emisiones netas, lo cual impulsaría la transformación de otros sectores, como el industrial y el de transporte (PNUD, 2025). En el ámbito del transporte, se ha promovido el uso de energías limpias para avanzar en la descarbonización, lo que explica el aumento de vehículos eléctricos alimentados por energía renovable. Sin embargo, este avance genera desafíos adicionales asociados con la disposición de residuos de baterías, debido a su impacto ambiental y social. También se incrementa la demanda de minerales críticos —como cobre, litio y cobalto—

necesarios para tecnologías de energía renovable. Ese aumento en la extracción mineral puede ocasionar daños ambientales y profundizar desigualdades sociales. En este contexto, el PNUD subraya la importancia de priorizar marcos normativos que regulen la cadena de valor de los minerales críticos mediante enfoques de economía circular y abastecimiento responsable.

La economía circular se presenta como una alternativa de crecimiento económico. Según la Fundación Ellen MacArthur, este modelo “implica separar la actividad económica del consumo excesivo de recursos naturales (finitos) y eliminar la generación de residuos y contaminantes del sistema productivo, desde la etapa de diseño de bienes y servicios” (DCC, s. f.). Forma parte de la transición hacia fuentes de energía renovables y propone un modelo que genera capital económico, natural y social. Se basa en tres principios de producción sostenible: eliminar residuos y contaminación desde el diseño —lo cual implica responsabilidad del productor—; mantener productos, partes y materiales en uso continuo —lo que requiere una visión del consumidor que evite el descarte prematuro—; y regenerar los sistemas naturales de los cuales dependen la economía y la vida (DCC, s. f.).

Las energías limpias aluden a tecnologías cuyos componentes y materiales se encuentran asociados con la transición energética; incluyen la movilidad eléctrica, el hidrógeno verde, la energía eólica y los paneles solares. Estas tecnologías buscan minimizar los impactos negativos y reducir la emisión de GEI. Forman parte del ecosistema de tecnologías *clean tech*, un conjunto de energías limpias con un nivel de madurez elevado debido al tiempo que llevan en el mercado. Ejemplos de estas tecnologías son la energía solar, la energía eólica —incluida la eólica marina—, los vehículos eléctricos y la energía geotérmica (figura 29).

Figura 29. Soluciones tecnológicas Clean Tech



Fuente: BBVA (2025)

Por otra parte, existen energías limpias emergentes, entre ellas la energía mareomotriz y la undimotriz. La primera se genera a partir de las mareas y la segunda mediante el movimiento de las olas. También se desarrollan tecnologías como los reactores nucleares avanzados (*Small Modular Reactors*, SMR) y el hidrógeno verde. En relación con la energía basada en hidrógeno, ya operan diversas plantas en China, la Unión Europea, la India y Estados Unidos. El hidrógeno se clasifica según su origen: el hidrógeno azul, producido a partir de gas natural mediante sistemas de captura de emisiones; el hidrógeno rosa, obtenido por electrólisis del agua con electricidad de origen nuclear; y el hidrógeno verde, generado mediante electrólisis alimentada por energías renovables (BBVA, 2025).

En un nivel menor de madurez se encuentran los combustibles alternativos para la aviación y las tecnologías de captura, almacenamiento y utilización de carbono (CCS). De acuerdo con la BBVA (2025), estas innovaciones se desarrollan en Estados Unidos, la Unión Europea, Reino Unido, Canadá y Japón.

En este panorama, el sector industrial será el principal emisor de CO₂ en 2040, debido a que la descarbonización industrial demanda procesos complejos y prolongados. Esta situación explica los esfuerzos internacionales dirigidos a tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS) (Pupo y González, 2023). Tales tecnologías buscan capturar o reciclar el carbono ya presente en la atmósfera para mitigar los efectos provocados por décadas de consumo intensivo de combustibles fósiles. También se asigna un papel estratégico a las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), que congregan los compromisos de 169 países y de la Unión Europea —contabilizada como una sola parte— en acciones prioritarias para reducir emisiones.

En el ámbito industrial, la responsabilidad en la generación de GEI es elevada, además de los impactos ambientales derivados de la contaminación del agua, los daños a la biodiversidad y otros efectos relacionados con la cadena de valor. Pupo y González (2023) destacan que “la industria del cemento, desde la recepción de la materia prima hasta la gestión de desechos, afecta la calidad del agua (...) la siderurgia (...) presenta un alto consumo de agua, con una huella hídrica media de 28,6 m³/t de acero en plantas integradas (...) [y] en la industria química, incidentes involuntarios como vertidos de sustancias ácidas y alcalinas provocan contaminación química en ecosistemas terrestres y acuáticos, afectando la biodiversidad y la salud humana”.

En cuanto a la reducción de emisiones en la construcción de edificios, se desarrollan alternativas vinculadas con diseños arquitectónicos más eficientes. Estas incluyen nuevos sistemas de calefacción y refrigeración orientados hacia el ahorro energético, así como electrodomésticos y tecnologías domésticas que optimizan el consumo. Así, la eficiencia energética permite utilizar menos energía manteniendo el mismo nivel de productividad.

Transformación digital

En la lucha contra el cambio climático, la gestión del conocimiento debe estar enmarcada en la Ciencia Abierta, de modo que la información científica sea accesible para todas las personas y se consolide una red internacional de colaboración. Mientras este modelo se fortalece, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI, 2025) destaca que “la transformación digital es una tendencia que ha impulsado un cambio productivo que conlleva el potencial de una mayor eficiencia y una producción y productos más sostenibles... considera que son necesarios cuatro elementos facilitadores digitales: infraestructura digital, gobernanza digital, competencias digitales y cooperación digital”.

En materia de cambio climático, la ONUUDI (2025) indica que “las tecnologías digitales pueden ayudar a reducir las emisiones globales de carbono hasta en un 15 % mediante soluciones en los sectores de la energía, la manufactura, la agricultura, la construcción, los servicios, el transporte y la gestión del tráfico”. Este potencial contribuye a impulsar los cambios requeridos para avanzar en la mitigación.

La transformación digital transita actualmente de la cuarta hacia la quinta revolución industrial. Carro (2022) señala que la industria 4.0 “forma parte de una transformación industrial donde tecnologías de información y de fabricación se han integrado en sistemas de manufactura, sistemas de gestión y en formas de hacer negocios innovadores para generar una nueva propuesta de valor para la sociedad... De tal forma que la industria 4.0 fue un punto de inflexión que permitió a las empresas contribuir y alcanzar un desarrollo económico con base en tecnologías digitales, infraestructura en TIC y en un nuevo compromiso por parte de la alta dirección”.

En 2021, en el contexto de la pandemia, Carro (2022) menciona iniciativas de la Unión Europea que reflejan el inicio de la quinta revolución industrial. Dichas iniciativas se orientan a “cómo se puede implementar la tecnología para respaldar y fortalecer la interacción entre industria y sociedad, con el fin de que las empresas estén mejor preparadas para el futuro, sean más resilientes y sostenibles, y estén más centradas en el ser humano”. Bajo este enfoque, la industria 5.0 valora el aporte humano tanto en los procesos como en los productos y plantea un modelo productivo que integra objetivos sociales, promueve la prosperidad, respeta el ambiente y prioriza el bienestar del trabajador.

La transformación digital incorpora tecnologías emergentes y disruptivas que apoyan la lucha contra el cambio climático y se vinculan con la inteligencia artificial, los drones, el internet de las cosas, la realidad virtual y aumentada, así como la observación de la Tierra. Estos elementos se abordan a continuación:

Tendencias Tecnológicas

Se estima que los gobiernos en todo el mundo podrían destinar alrededor de 35 billones de dólares a proyectos de obra pública. Para ello deberán invertir en enfoques orientados a la seguridad, la distribución de recursos, la gestión de residuos, la gestión del riesgo de desastres, la construcción y el transporte, con el propósito de maximizar la sostenibilidad, la calidad de vida y la competitividad económica (CEPLAN, 2015). Este escenario se articula con la transformación digital y con el uso de tecnologías ambientalmente sostenibles, en consonancia con los procesos vinculados con la quinta revolución industrial mencionados previamente. Las tecnologías emergentes constituyen fuerzas motrices del cambio, razón por la cual se describen en el siguiente apartado.

Inteligencia Artificial (IA) en el procesamiento de datos

La inteligencia artificial (IA) desarrolla sistemas informáticos capaces de ejecutar tareas que tradicionalmente realizan los seres humanos. Este proceso se basa en algoritmos que identifican patrones y permiten que el sistema genere aprendizaje progresivo. Mediante modelados cognitivos, técnicas estadísticas de optimización o heurísticas que emulan la cognición humana, la IA produce efectos positivos en el rendimiento, la productividad, los costos operativos, la innovación en servicios y la calidad de vida en los ámbitos laboral, doméstico y recreativo.

El aprendizaje automático constituye una de las principales ramas de la IA. A través de programas informáticos, se generan algoritmos capaces de analizar conjuntos de datos, identificar patrones, procesarlos y brindar resultados que facilitan análisis más eficientes y oportunos.

La IA amplía la capacidad humana para procesar e interpretar grandes volúmenes de información y favorece la gestión de datos espaciales mediante la detección de patrones que permiten realizar predicciones. Un ejemplo de ello es el análisis de datos en la congestión vial: aplicaciones como Waze procesan información proveniente de los receptores GNSS en dispositivos móviles y generan visualizaciones que recomiendan rutas alternas, facilitan los desplazamientos y contribuyen al ahorro de combustible, con efectos positivos en la reducción de emisiones.

Estas capacidades optimizan procesos en el tráfico vehicular mediante la gestión inteligente de redes de transporte. También fortalecen la gestión de recursos naturales al identificar patrones de deforestación, monitorear la vida silvestre, analizar fuentes fluviales y generar modelos predictivos de incendios forestales. Asimismo, permiten planificar ciudades sostenibles utilizando datos sobre demografía, patrones de consumo y rutas origen–destino para optimizar el transporte público. En el ámbito agrícola, la IA contribuye al desarrollo de la agricultura de precisión, mejorando la productividad y el uso eficiente de recursos (Muñoz, 2019).

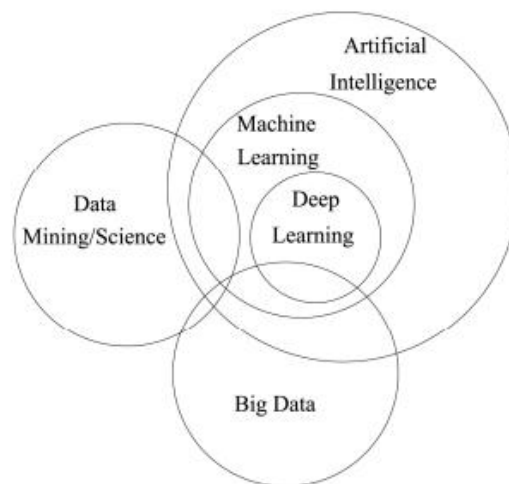
En materia de gestión del riesgo y de desastres, contar con la ubicación georreferenciada de los activos viales permitiría generar simulaciones preventivas previas a un evento. Los modelos basados en IA deben ser probados y ajustados antes de su aplicación final. Por ejemplo, es posible modelar la trayectoria de un ciclón tropical, un sismo o una erupción volcánica e identificar el territorio y la infraestructura pública potencialmente afectados, para diseñar planes de prevención, recuperación o reconstrucción.

En el sector de la construcción, la IA permite optimizar tareas de planificación, programación y control de proyectos mediante algoritmos que facilitan procesos de prueba y error, reducen pérdidas económicas por fallos y permiten evaluar materiales o diseños constructivos. Ejemplos de aplicación se observan en metodologías basadas en *Building Information Modeling* (BIM), empleadas para modelar edificios e infraestructuras. Esta metodología integra datos sobre materiales, costos y tiempos, y resulta útil en la etapa de diseño para priorizar problemas y seleccionar soluciones.

El enfoque BIM se fundamenta en la colaboración interdisciplinaria mediante un modelo de datos compartido. Diferentes profesionales aportan información vinculada con la concepción del proyecto. La integración con los sistemas de información geográfica (SIG) amplía el análisis territorial y, combinada con los datos constructivos, facilita la priorización de acciones en proyectos de infraestructura.

La IA abarca el *machine learning* —aprendizaje automático—, orientado al diseño de modelos capaces de aprender de los datos para predecir tendencias, y el *deep learning* —aprendizaje profundo—, que se centra en el aprendizaje de representaciones y características de los datos (figura 30). Ambos enfoques pueden vincularse con procesos de *Big Data* o *Data Science*.

Figura 30. La interrelación de diferentes técnicas computacionales inteligentes



Fuente: Salehi & Burgueño (2018).

El *Big Data* no forma parte directa de la IA; sin embargo, constituye una tecnología clave para almacenar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos estructurados y no estructurados que resultan difíciles de gestionar mediante técnicas convencionales. El *Big Data* alimenta los modelos de IA y ML, lo que explica su articulación. Finalmente, el *Data Mining* o *Data Science* permite extraer las características más relevantes, identificar patrones y obtener información significativa de los datos (figura 29). A modo de ejemplo en *machine learning*, destacan los brazos robóticos programados mediante aprendizaje automático para disponer piezas de construcción o ejecutar tareas de mantenimiento de manera eficiente.

Realidad virtual y aumentada

En el ámbito del diseño constructivo, la tecnología facilita los procesos mediante modelos digitales de alta precisión. Abarca (2024) señala que la construcción y el diseño virtual (*Virtual Design and Construction, VDC*) permiten visualizar los proyectos de manera detallada. El modelado tridimensional posibilita anticipar aspectos clave antes de la construcción real. Este entorno virtual de trabajo permite ahorrar tiempo y recursos mediante procesos más precisos; favorece la colaboración con equipos multidisciplinarios en espacios virtuales al mejorar el diseño fuera de obra; incrementa la calidad del proyecto al visualizar cada fase y facilitar correcciones oportunas; y mejora la salud y la seguridad, ya que en esta etapa virtual se evalúan los riesgos del proyecto antes de iniciar la construcción.

La tecnología VDC utiliza modelos 3D BIM, que constituyen un modelo digital inteligente con una base de datos colaborativa que integra información geométrica, parámetros de rendimiento, tiempos de construcción, costos, mantenimiento y vida útil del proyecto, entre otros elementos. BIM adopta un enfoque colaborativo mediante tecnología digital. El nivel de detalle de cada componente facilita su interacción con herramientas de realidad aumentada, lo que mejora la comprensión del proyecto por parte de todos los colaboradores, favorece la detección de errores y aumenta la eficiencia en la construcción y el mantenimiento (Abarca, 2024).

El uso de realidad aumentada, tal como indica Abarca (2024), “mejora la formación de los profesionales de la construcción al permitir la simulación de escenarios y ejercicios virtuales en un entorno seguro”. Esta tecnología ya se ha aplicado en la construcción de carreteras, proyectos subterráneos, túneles y puentes, así como en espacios educativos mediante laboratorios especializados.

La realidad aumentada facilita procesos de aprendizaje en distintos campos. Un ejemplo es la capacitación en seguridad vial, mediante simulaciones en las que se presentan situaciones de conducción en carretera que deben resolverse en un entorno virtual basado en circunstancias reales.

La realidad aumentada permite trasladar elementos del mundo real a un entorno digital donde se proyecta el desarrollo planificado. En un contexto de planificación, esta tecnología posibilita visualizar zonas de riesgo y áreas propensas a desastres desde una perspectiva más tangible, lo que permite valorar adecuadamente los cambios necesarios para gestionar la resiliencia de la infraestructura.

Impresión en 3D

Otra tendencia relevante en el ecosistema global es la fabricación, caracterizada por la interacción entre fabricantes, proveedores y empresas de logística. Entre los principales impulsores se encuentran los cambios en los patrones laborales, la impresión en 3D y la robótica. Estas tecnologías permiten reducir el desperdicio de materiales y mejorar la productividad ante las limitaciones de mano de obra (CEPLAN, 2015).

Camós et al. (2020) destacan los beneficios de la impresión 3D en términos de flexibilidad, agilidad, capacidad de personalización y sostenibilidad. Asimismo, identifican oportunidades para el sector transporte, como “mejorar los procesos de construcción y mantenimiento de infraestructura, optimizar el consumo de materiales,

optimizar los costos de logística y la gestión de stock, y construir piezas complejas, compactas, ligeras, duraderas, al mismo tiempo que reducir los riesgos de errores en las industrias de punta”. Los autores reconocen también los retos asociados a esta industria aditiva, entre ellos la necesidad de que los gobiernos generen condiciones técnicas, regulatorias y de mercado adecuadas para su desarrollo.

Algunos ejemplos en el sector transporte incluyen puentes peatonales impresos en 3D: en Ámsterdam, el primero se construyó en 2016 con hormigón microreforzado; en 2018 se desarrolló otro en metal por MX3D y ArcelorMittal. En el Reino Unido se ha explorado el uso de impresión 3D para el mantenimiento y la renovación de rieles ferroviarios mediante robots que operan directamente en el sitio. En el sector vivienda, en Tabasco (México) se ha empleado esta tecnología para la construcción de casas (Camós et al., 2020). En Dubái, el sector de la construcción cuenta con un sistema de certificación que busca estandarizar y agilizar los procedimientos asociados con la impresión 3D.

Aunque se trata de un ámbito aún en fase exploratoria para los medios de transporte, la impresión 3D permite crear prototipos de manera rápida, producir piezas de repuesto y fabricar herramientas que pueden emplearse en los diferentes modos de transporte —terrestre, marítimo, ferroviario o aéreo—. Esta tecnología facilita la combinación de materiales y la fabricación de componentes ligeros y resistentes. No obstante, la industria del transporte debe identificar materiales que cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos. Se trata, en síntesis, de un campo con un potencial considerable.

Robótica

La robótica comprende sistemas diseñados para realizar trabajos similares a los que ejecutan los seres humanos en distintos campos, mediante programaciones autónomas o por teleoperación. CEPLAN (2015) señala que existen más de 1,2 millones de robots industriales en funcionamiento a escala mundial, lo que refleja una transformación impulsada por la innovación tecnológica. Se proyecta que, para 2030, estos sistemas se integren en múltiples sectores productivos, lo que podría reducir la necesidad de mano de obra humana en algunas áreas.

El uso de robots en fábricas e industrias ha permitido agilizar y hacer más eficientes diversas tareas, desde el transporte de cargas o paquetes hasta la reducción de riesgos para el personal. En logística aeroportuaria y portuaria, la robótica ha contribuido a optimizar procesos y mejorar la productividad.

Un ejemplo práctico proviene de PierNext, hub digital del Puerto de Barcelona, que destaca varias ventajas en la utilización de robots para operaciones portuarias, según lo expuesto por el ingeniero Pablo Íñigo B.:

- **Seguridad e inspección:** los robots móviles o drones pueden desplazarse con facilidad, garantizan seguridad en las operaciones y permiten el seguimiento en tiempo real de paquetes, palés o contenedores dentro de la instalación portuaria.
- **Transporte o carga automatizada:** los robots facilitan la clasificación de mercancías y su traslado hacia almacenes u otros espacios del puerto, mediante brazos articulados o vehículos autónomos.
- **Manipulación de elementos físicos:** pueden realizar tareas básicas como abrir puertas, activar llaves o manipular paquetes, aunque estas funciones aún no se aplican ampliamente en la logística portuaria.

El empleo de robots y drones podría desplazar trabajadores en este ámbito laboral; sin embargo, también incrementaría la rentabilidad y eficiencia de las operaciones portuarias.

Los drones, o vehículos aéreos no tripulados (VANT o UAV, por sus siglas en inglés), presentan características y capacidades técnicas diversas según el propósito de uso. Para tareas de teledetección, se equipan con GPS, cámaras de alta resolución o sensores especializados que facilitan la observación remota.

En ingeniería civil, los drones se emplean para realizar levantamientos topográficos, especialmente en zonas de difícil acceso. Algunos modelos incluyen equipos láser que permiten registrar el terreno mediante nubes de puntos, las cuales se integran posteriormente en sistemas de información geográfica para generar cartografía detallada. También pueden capturar imágenes de alta precisión de áreas específicas (González R., 2019).

El uso de drones es amplio e incluye la inspección de infraestructuras, investigaciones atmosféricas, levantamientos topográficos, agricultura de precisión, localización de bancos de pesca, mantenimiento de parques eólicos e infraestructuras energéticas, control ambiental y diversas aplicaciones vinculadas con la gestión del riesgo y los desastres, entre otros campos (González, 2019).

Internet de las cosas (IoT)

CEPLAN (2015) identifica que el uso de sensores y transmisores en máquinas y en objetos de uso masivo amplía las oportunidades de interconexión. Esta capacidad facilita el desarrollo del Internet de las cosas (IoT), que permite a empresas y organizaciones del sector público gestionar activos, optimizar el rendimiento y generar nuevos modelos de negocio. Este enfoque abre la posibilidad de crear nuevas realidades, como ciudades inteligentes y carreteras inteligentes, entre otras.

Las ciudades inteligentes, concebidas como espacios urbanos que integran soluciones tecnológicas, buscan mejorar la habitabilidad mediante herramientas que maximizan la productividad económica y la calidad de vida de la población. Estas ciudades pretenden reducir el consumo de recursos y la degradación ambiental, incorporando tecnologías en la planificación urbana, la gobernanza, la gestión de recursos, la infraestructura física y los sistemas de comunicación. Integran servicios públicos y privados mediante el uso de teléfonos inteligentes y diversas aplicaciones orientadas a estos fines (CEPLAN, 2015).

En el caso de las carreteras inteligentes, el IoT posibilita avances significativos. Intel Corporation señala que “con los sensores de IoT, las cámaras, los radares y las tecnologías equipadas con 5G, se pueden analizar los datos casi en tiempo real y usarlos para mejorar las vías congestionadas y mejorar el flujo del tráfico. Además, se puede enviar datos a la nube para un análisis a largo plazo, lo cual proporciona información fundamental para iniciativas como la reducción de las emisiones de CO₂”. Asimismo, la aplicación de inteligencia artificial en semáforos de ajuste automático y sincronización dinámica contribuye a mejorar el flujo vehicular y permite activar señales para proteger a los usuarios de la carretera ante conductores peligrosos.

Entre los beneficios de una infraestructura vial inteligente destacan la reducción del congestionamiento, el incremento de la seguridad vehicular y peatonal, el fortalecimiento de los servicios de emergencia, la mejora de las condiciones del pavimento, el uso de gemelos digitales, el impulso al transporte sostenible y la implementación de sistemas inteligentes de peaje y estacionamiento.

El uso de gemelos digitales representa un potencial significativo, siempre que se disponga de una estructura adecuada para el registro de datos. Los gemelos digitales son réplicas virtuales de un activo físico, proceso o sistema, y se mantienen sincronizados con su contraparte real mediante un flujo continuo de datos. García (2025) explica que este enfoque requiere “un modelo virtual detallado, una robusta conexión de datos bidireccional y capacidades analíticas avanzadas”. Los Gemelos Digitales (DT) constituyen una herramienta transformadora en la gestión de infraestructura.

Además, los gemelos digitales ejemplifican la convergencia tecnológica al integrar el Internet de las Cosas (IoT) para la captura de datos mediante sensores; el Modelado de Información de Construcción (BIM) para la representación geométrica y semántica; la inteligencia artificial (IA) para el análisis predictivo y la toma de decisiones; y la computación en la nube para el almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de información (García, 2025).

Nanotecnología en la infraestructura vial

La nanotecnología es la disciplina científica y tecnológica encargada de la construcción de dispositivos y materiales a nivel atómico y molecular, utilizando unidades de medida denominadas nanómetros, lo que permite manipular materiales a escala nanométrica. Pérez (2021) menciona diversos ejemplos de su aplicación en computación, como “productos como magnetoresistores multicapa para las memorias de computadoras (...) frenos magnéticos y motores; recubrimientos nanoestructurados para almacenamiento de datos; nanopartículas para suministrar fármacos, nanopartículas antibacteriales, colorantes en impresión; materiales nanoestructurados (nanocompuestos y metales nanofásicos); y, en el sector salud, se crearán sondas que diagnostiquen enfermedades sin dañar los tejidos”.

En el sector transporte, Pérez (2021) señala varios ejemplos de esta línea de desarrollo:

- Materiales que reemplacen los componentes metálicos en los automóviles, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono aproximadamente en cinco mil millones de kilogramos al año.
- Sustitución del negro de humo de los neumáticos por nanopartículas de arcillas y polímeros inorgánicos, dando lugar a neumáticos más respetuosos con el ambiente y resistentes al desgaste.
- Nanorecubrimientos para lograr superficies antibacterianas, mayor dureza, baja fricción y mejor protección contra la corrosión.
- Nanoestructuras basadas en carbono que sirven como ‘esponjas de hidrógeno’ en las pilas de combustible.

La nanotecnología también se ha utilizado en pavimentos viales, dada su importancia para la seguridad vial. Un pavimento seguro y duradero requiere resistir factores ambientales, cargas de tráfico y condiciones del entorno. En este sentido, la aplicación de materiales nanométricos puede mejorar la longevidad y el rendimiento de los pavimentos mediante la incorporación de materiales avanzados e inteligentes (Wynand, 2011).

Otros ejemplos de aplicación incluyen el uso de nanomateriales en los parabrisas, lo que mejora la visibilidad; la incorporación de recubrimientos en espejos retrovisores para evitar el empañamiento; y el empleo de nanotecnología en motores para mejorar su rendimiento y eficiencia, reduciendo así los niveles de contaminación (Pérez, 2021).

Tecnología para la observación de la Tierra

Es relevante mencionar las tecnologías que pueden contrarrestar el cambio climático y, al mismo tiempo, contribuir a la sostenibilidad y la resiliencia frente a desastres naturales. Estas tecnologías facilitan acciones de prevención, vigilancia, mitigación y adaptación, y se integran a las ya descritas dentro de la convergencia tecnológica.

Las tecnologías de observación de la Tierra proporcionan conocimiento científico estratégico para comprender cómo interactúan los seres humanos con el planeta, cómo se adaptan a los fenómenos naturales y cómo interpretar la dinámica de los sistemas interconectados que se manifiestan en los ecosistemas terrestres.

Estas tecnologías requieren almacenar y procesar millones de datos climáticos y meteorológicos mediante herramientas que permitan generar información científica y técnica para la toma de decisiones. En este propósito, el Foro Económico Mundial identifica diez tendencias tecnológicas útiles para la observación de la Tierra, descritas por Khlystov et al. (2024):

- **Sensores en satélites:** permiten vigilar fenómenos naturales y capturar imágenes hiperespectrales mediante programas de teledetección. Ofrecen resoluciones temporales, espaciales y espectrales

superiores a las multiespectrales actuales y facilitan la detección de salud vegetal o daños provocados por incendios forestales.

- **Computación a bordo del satélite:** posibilita procesar datos directamente en órbita, reduciendo la latencia y la necesidad de descarga masiva. Facilita transmitir información crítica con mayor rapidez hacia los equipos de respuesta en escenarios de emergencia (Khlystov et al., 2024).
- **Miniaturización de sensores de observación de la Tierra:** la reducción de costos en la fabricación de satélites facilita el acceso a más países y amplía la disponibilidad pública de datos de observación.
- **Satélites con capacidades avanzadas:** sensores de mayor precisión, mejor transmisión de datos y plataformas más robustas que alojan instrumentos complementarios.

Como parte de la convergencia tecnológica se integran herramientas adicionales aplicables a la observación de la Tierra:

- **Inteligencia artificial (IA):** los algoritmos de IA, *machine learning* (ML) y *deep learning* aceleran el procesamiento y análisis de datos. Los modelos basados en ML pueden operar hasta 1000 veces más rápido que los modelos climáticos tradicionales, lo que permite generar mapas de inundación y otros pronósticos con mayor rapidez. Asimismo, con datos de alta calidad es posible realizar evaluaciones postdesastre en lapsos de horas o minutos, frente a inspecciones de campo que pueden tardar semanas (Khlystov et al., 2024).
- **Modelos climáticos basados en ML:** integran principios físicos y capacidad de procesamiento de enormes volúmenes de datos —a escala de petabytes— para ofrecer pronósticos de alta resolución y con costos computacionales menores. Algunos estudios indican hasta cien veces más eficiencia energética (Khlystov et al., 2024).
- **Modelos fundacionales de IA geoespacial:** detectan patrones complejos a partir de datos satelitales mediante entrenamiento autosupervisado. Son altamente eficaces para generar modelos precisos de patrones globales y producir información georreferenciada para la toma de decisiones territoriales (Khlystov et al., 2024).
- **Gemelos digitales:** Khlystov et al. (2024) los describe como “réplicas digitales dinámicas de sistemas terrestres como el clima, los océanos y los ecosistemas”. Permiten comprender, predecir e investigar fenómenos del sistema terrestre y analizar escenarios hipotéticos. Integrados a sistemas de información geográfica, representan objetos físicos, procesos y relaciones sobre una base espacial, generando gemelos digitales geoespaciales.
- **Plataformas AR/VR de inmersión de datos:** facilitan la comprensión de procesos naturales mediante visualizaciones inmersivas que fortalecen la alfabetización de datos.
- **Cubos de datos:** organizan información de observación en cuadrículas espaciales, temporales y de variables. Permiten extraer información y ejecutar análisis complejos a diversas escalas (Khlystov et al., 2024). ONU-SPIDER resalta que estos cubos facilitan el uso de grandes inventarios de imágenes satelitales mediante infraestructuras en la nube que almacenan y procesan datos para generar *Analysis Ready Data* (ARD).
- **Sensores LiDAR:** emplean luz láser para determinar distancias a objetos o superficies. Constituyen una herramienta revolucionaria en cartografía (Zubizarreta, 2018). Existen:
 - LiDAR aerotransportado, instalado en aeronaves junto con sistemas GNSS.
 - LiDAR terrestre, instalado en vehículos o trípodes para escaneos estáticos en construcción y evaluación de riesgos.
 - LiDAR satelital, ubicado en satélites para cubrir grandes extensiones.

La teledetección permite adquirir información mediante sensores satelitales. Su integración con los SIG facilita el análisis espacial y la generación de cartografía. La IA fortalece este proceso al reconocer patrones y clasificar coberturas de manera más precisa mediante modelos entrenados, lo cual mejora las evaluaciones territoriales y la toma de decisiones ante problemas complejos.

El uso de LiDAR se extiende a la batimetría —medición de profundidades con láser verde—, generando modelos digitales de elevación en ríos, embalses o zonas costeras; en aviación, permite medir velocidad del viento y rastrear objetos; en construcción, facilita inspecciones precisas, cálculo de volúmenes y análisis de seguridad; en meteorología, registra parámetros atmosféricos; y en cartografía, genera modelos digitales de elevación para representar carreteras, puentes y otras infraestructuras (IBM, 2025).

En conversación con M. Lizano (comunicación personal, agosto 2025), se destaca la interacción entre IA, *Big Data* y el Internet de las cosas (IoT). En primer lugar, el *deep learning* requiere series temporales extensas —mínimo cinco años— para entrenar modelos robustos con niveles de precisión variables según datos y validación. El *machine learning* emplea algoritmos que aprenden a partir de datos, como *random forest* o máquinas de soporte vectorial. La disponibilidad de datos temporales amplios fortalece la construcción de modelos predictivos mediante Big Data.

En segundo lugar, la aplicación del IoT en infraestructuras como carreteras inteligentes permite capturar datos mediante sensores. Estos deben ser tratados y almacenados, y con el tiempo alimentan volúmenes crecientes de Big Data. La IA identifica patrones y tendencias en estas series temporales para generar análisis. El dato capturado mediante IoT también puede extraerse mediante *scripts* de programación.

La IA requiere datos históricos sólidos —al menos cinco años— para construir modelos predictivos ajustables que respondan a las necesidades del análisis. La gestión del dato inicia desde su captura, continúa con su revisión y depuración, y culmina con su almacenamiento en motores de bases de datos. El especialista utiliza esa información para responder a problemas planteados y fundamentar decisiones.

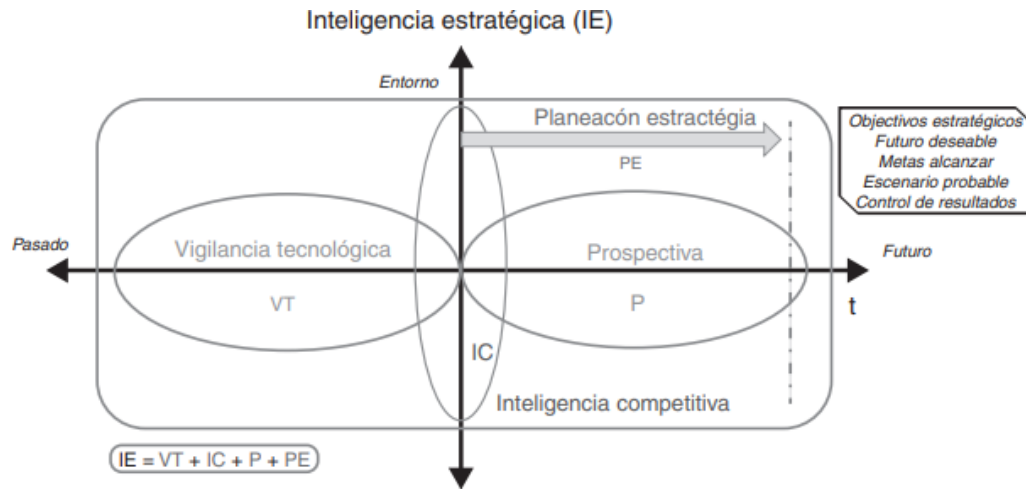
Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva

A partir del análisis de megatendencias en cambio climático, masificación del conocimiento y convergencia tecnológica, orientadas a las necesidades del objeto de estudio, se identificaron las tendencias futuras en la gestión del conocimiento. Este componente prospectivo se complementa con el análisis de vigilancia tecnológica (VT) e inteligencia competitiva (IC), entendidas como exploraciones del entorno que amplían las posibilidades de innovación dentro de una organización.

La VT permitió examinar el entorno futuro de la gestión del conocimiento en resiliencia climática en el Sector de Obras Públicas y Transportes mediante el monitoreo y escaneo de fuentes científicas que evidencian tendencias tecnológicas y sus aplicaciones en distintas partes del mundo. De esta manera, la VT identifica tanto las tendencias como fenómenos emergentes que se manifiestan en el presente, que permiten reconocer hechos portadores de futuro.

La importancia de la VT radica en su capacidad para explorar el entorno de manera sistemática. Este proceso resulta esencial para una organización porque facilita anticiparse a futuros posibles y fortalece la toma de decisiones tempranas. Aguirre (2015) propone un modelo que integra los elementos de VT e inteligencia competitiva o estratégica. En dicho modelo, la consulta de fuentes mediante motores de búsqueda ofrece una visión sobre la dinámica del mundo en el presente y el pasado. La visión prospectiva se orienta hacia el futuro deseable, asociado con las metas de la investigación y el escenario probable. La inteligencia competitiva se sitúa entre ambos ejes, enfocada en el presente y en los recursos disponibles (figura 31).

Figura 31. Modelo conceptual de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva



Fuente: Aguirre (2015).

Para esta vigilancia se empleó el motor de búsqueda *Web of Science* mediante distintas ecuaciones de consulta (Tabla 33). Los resultados permitieron visualizar la evolución de un fenómeno en el tiempo a partir de la gráfica temporal de publicaciones. Este proceso se orientó a recolectar, analizar y procesar la información obtenida, identificando palabras clave que reflejan el movimiento de las fuerzas motoras del futuro, vinculadas con herramientas, tecnologías y capacidades para nuevos conocimiento. En varios casos, dichas palabras clave coinciden con las tendencias abordadas en el estudio.

Tabla 33. Ficha de vigilancia tecnológica

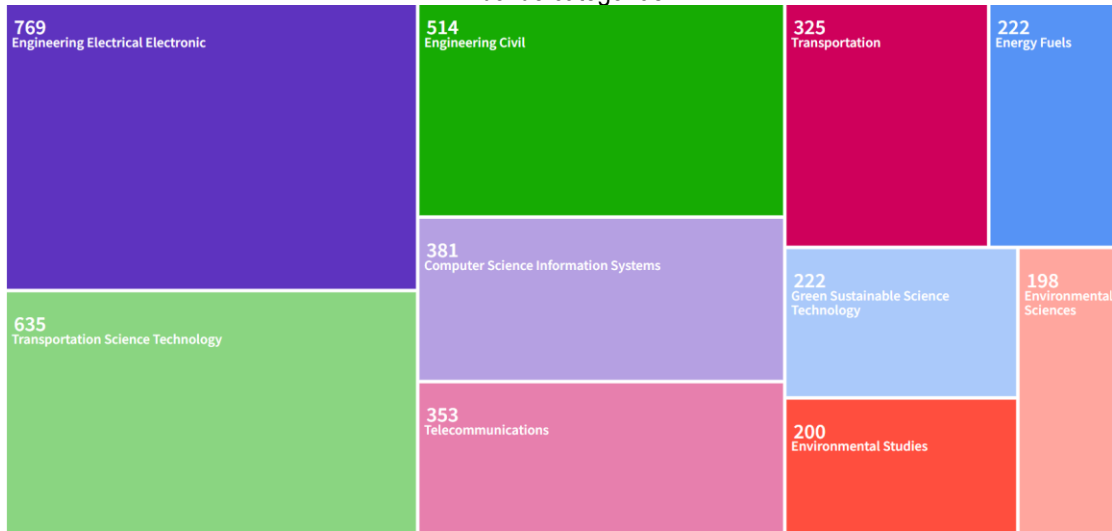
Resumen de VT	
Motor de búsqueda: Webofscience	
Bases de datos bibliográficos: EEE Xplore, IOPscience, ScienceDirect, ResearchGate	
Ecuaciones de búsqueda en infraestructura de transporte:	
Infraestructura de transporte inteligente	Smart transportation infrastructure
Infraestructura vial resiliente	Resilient road infrastructure
Tecnología de servicios climáticos en carretera	Technology in road climate services
Evaluación de riesgo climático en carretera	Climate risk assessment on roads
Información climática para gestión de riesgos y desastres en carreteras	Climate information for road risk and disaster management

Fuente: Elaboración propia (2025).

A continuación, se presentan los resultados de la Vigilancia Tecnológica. En primer lugar, se exponen las ecuaciones de búsqueda y las disciplinas que han trabajado con cada una de ellas, incluida la cantidad de publicaciones registradas. Posteriormente, se muestra la gráfica temporal de publicaciones para visualizar la evolución del tema en el tiempo. Finalmente, se incorpora un breve resumen de algunos ejemplos de publicaciones, indicando el título del artículo, los autores, el resumen y la fuente.

Ecuación: Smart Transportation Infrastructure in System Transportation- Infraestructura de transporte inteligente

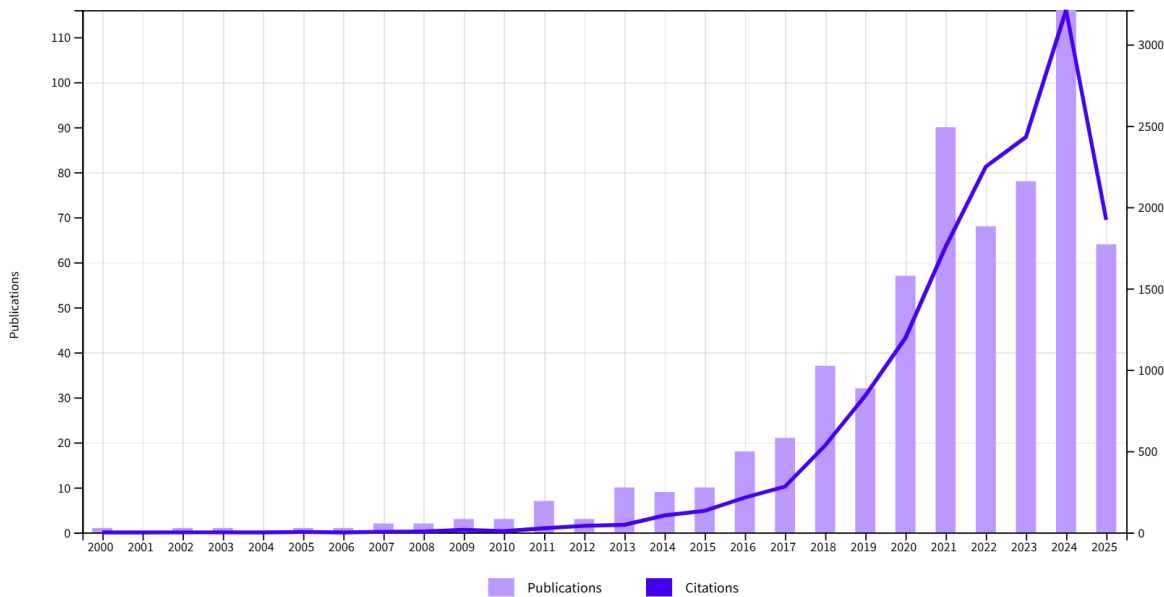
Árbol de categorías



Total 2.643 publicaciones distribuidas en 10 categorías indicadas en el árbol. Se eligió la categoría *Transportation Science Technology*- Transporte Ciencia Tecnología.- con 635 publicaciones.

El motor de búsqueda distribuye las publicaciones por año y se evidencia el incremento de más de 20 a partir del año 2018, aunque previamente registró publicaciones en esa materia, es posterior al 2018 que se hace más significativa la importancia, hasta superar más de 100 en el año 2024

Distribución de publicaciones en el tiempo



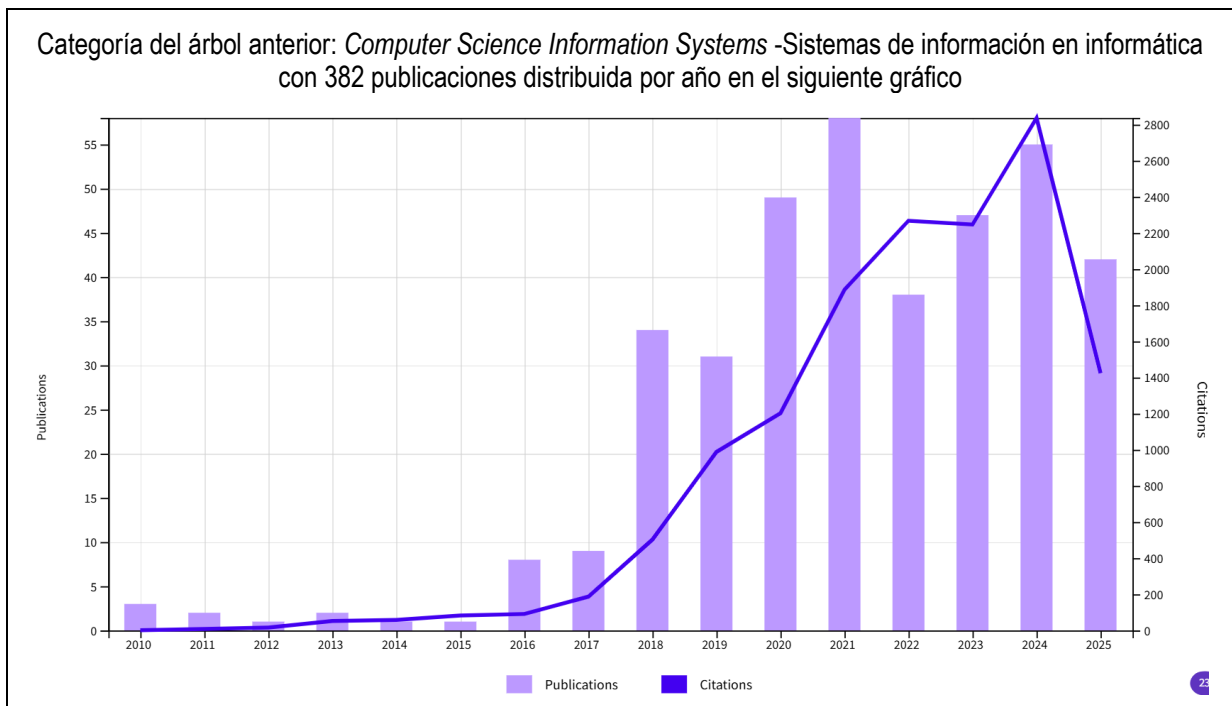
Ejemplos de publicaciones en el tema de interés

Título – autor(es)	Resumen – fuente	Palabras clave
El camino más transitado: Estimación de la demanda de viajes utilizando recursos de <i>Big Data</i> . (2015)	Uso del <i>Big Data</i> en temas de transporte, aplicación de un software flexible y eficiente que estima la demanda de viajes utilizando registros de llamadas de teléfonos móviles, datos	Volúmenes de datos

Jameson L. Toole, Serdar Colak, Bradley Sturt, Lauren P. Alexander, Alexandre Evsukoff, Marta C. González	geoespaciales abiertos, censos y encuestas. El sistema integra algoritmos para generar matrices de origen-destino, analiza resultados, y tiene una plataforma de visualización interactiva. Fuente: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X15001631	Repositorio de datos abiertos Big data
Configuración de estaciones de transporte público en Hong Kong según la predicción de la densidad de población mediante aprendizaje automático (2025) Ji YH; Zheng H	Cartografía de modelación para planificar estaciones de transporte público. Fuente: https://www.researchgate.net/publication/387974923_Configuration_of_public_transportation_stations_in_Hong_Kong_based_on_population_density_prediction_by_machine_learning	Mapas de calor; Modelaciones de aprendizaje automático
Movilidad eléctrica en Europa: una revisión exhaustiva de los motivadores y las barreras en los procesos de toma de decisiones. (2018) Bireselioglu ME; Kaplan MD; Yilmaz, BK	Movilidad eléctrica como impulsor para reducción de emisiones en la Unión Europea, identificación de patrones de consumo identificando factores y variables comunes. Fuente: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965856417311771	Energías limpias Vehículos eléctricos Movilidad eléctrica
Gestión energética en vehículos eléctricos híbridos enchufables: avances recientes y una perspectiva de vehículos conectados (2017) Martinez CM ; Hu XS; Cao DP; Velenis E; Gao B; Wellers M	Tipo de vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) con sistema de reducción de emisiones y consumo de combustible utilizando algoritmos basados en la optimización. Fuente: https://www.researchgate.net/publication/304072118_Energy_Management_in_Plug-in_Hybrid_Electric_Vehicles_Recent_Progress_and_a_Connected_Vehicles_Perspective	Movilidad eléctrica Sistemas de gestión de emisiones Algoritmos para la optimización (IA) Reducción de emisiones
Patrones de viajes de pasajeros y mercancías: un análisis de conglomerados basado en redes urbanas (2025) Soyeong Lee, Heesun Joo	Análisis de patrones de viaje de pasajeros y mercancías en las áreas centrales en Corea del Sur, por medio del uso de datos de origen-destino (OD). Fuente: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0318084	Patrones de viaje (IA, ML) Estructuras de red Registro de datos origen-destino
Seguridad y privacidad de los sistemas de transporte inteligentes (2023) Rabadão Carlos, Santos Leonel, Santos Guilherme, Rogério Luís De Carvalho Costa	Los sistemas de transporte inteligente (STI) han avanzado con las nuevas tecnologías, y plantean importantes desafíos en seguridad y privacidad. Considerar las reglamentaciones en protección de datos Fuente: https://www.researchgate.net/publication/369768682_Intelligent_Transportation_Systems_Security_and_Privacy	Transporte inteligente Seguridad en carretera Protección de datos
Gestión de activos de infraestructura de transporte en el nuevo milenio: problemas	La gestión de activos de transporte (GAT) requiere múltiples disciplinas (ingeniería, finanzas, investigación operativa y economía) para la toma de decisiones. Considera el	Gestión de activos de transporte

<p>persistentes y desafíos y oportunidades emergentes (2017). Sinha KC; Labi S; Agbelie BRDK</p>	<p>enfoque de cambio climático, gestión de riesgo y desastre, resiliencia de la infraestructura, el desarrollo sostenible de los activos de transporte, vehículos autónomos dentro de un sistema holístico que aplique el <i>big data</i> y técnicas analíticas</p> <p>Fuente: https://www.researchgate.net/publication/315436594_Transportation_Infrastructure_Asset_Management_in_the_New_Millennium_Continuing_Issues_and_Emerging_Challenges_and_Opportunities</p>	<p>Colaboración Multidisciplinario</p> <p>Vehículos autónomos</p> <p>Big data</p> <p>Gestión de riesgos y desastres</p>
<p>Sistemas de transporte inteligentes para ciudades inteligentes sostenibles (2024) Mohamed Elassy, Mohammed Al-Hattab, Maen Takruri, Sufian Badawi</p>	<p>Análisis en redes vehiculares ad-hoc, semáforos inteligentes y virtuales, y predicción de movilidad, para lograr la eficiencia y sostenibilidad del transporte. Comunicación en tiempo real y desafíos de seguridad y privacidad</p> <p>Fuente: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266691X24000277</p>	<p>Semáforos inteligentes</p> <p>Predicción de movilidad</p> <p>Transporte eficiente</p> <p>Seguridad de datos</p>

Fuente: Elaboración propia basada en resultados del motor de búsqueda *Web of Science* (2025).



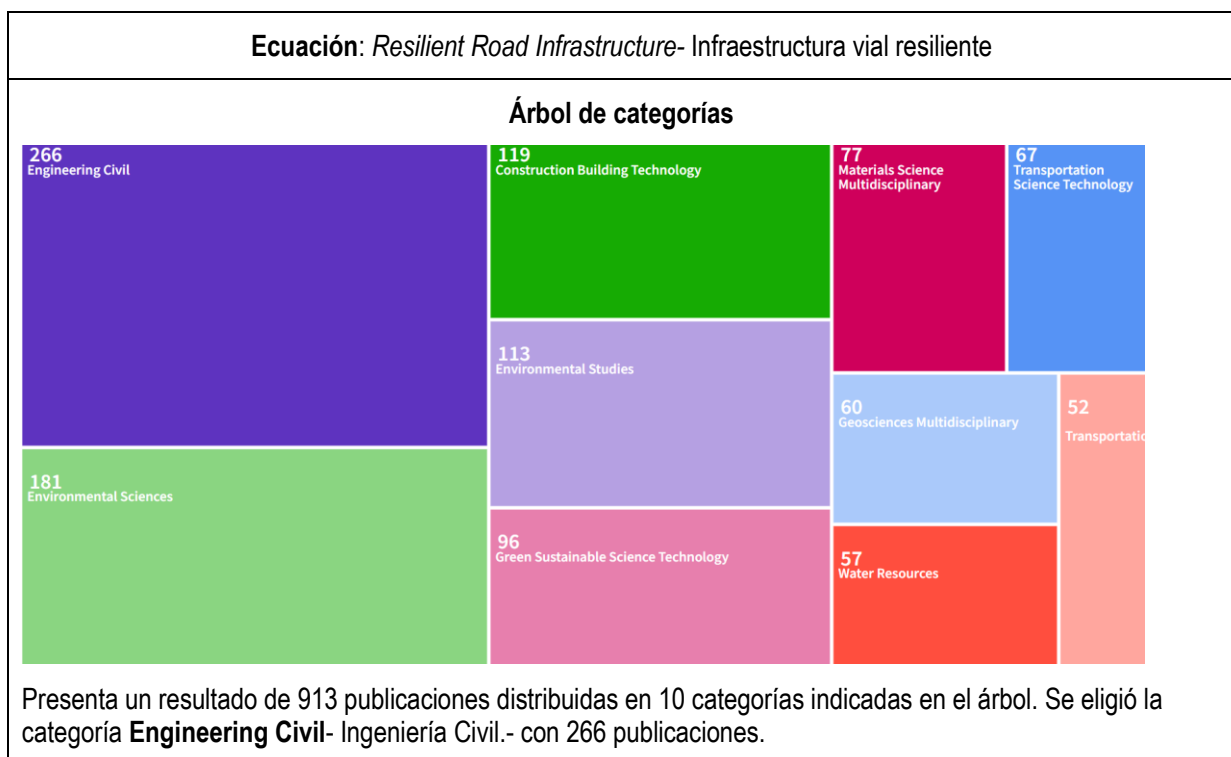
El motor de búsqueda muestra publicaciones desde 2010, con un crecimiento después del 2016. Se mantiene un interés entre 50 y 60 publicaciones por varios años consecutivos.

Ejemplos de publicaciones en el tema de interés

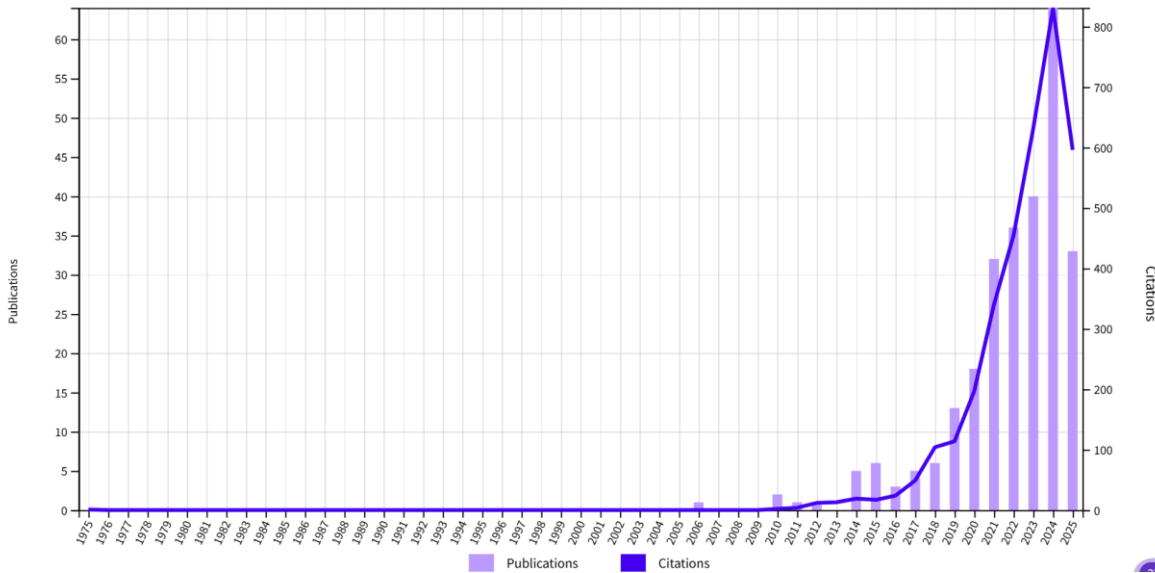
Título – autor(es)	Resumen – fuente	Palabras clave
<p>Patrullaje inteligente: Monitoreo eficiente de la superficie de la carretera</p>	<p>Monitorear la superficie vial garantiza una conducción segura y cómoda, detectando baches y desniveles. Aplicación de técnica de detección colaborativa</p>	<p>Calidad de superficie vial</p>

mediante sensores de teléfonos inteligentes y crowdsourcing (2017) Singh, G; Bansal D; Sofat, S; Aggarwal N.	utilizando sensores de teléfonos inteligentes, como el acelerómetro y el GPS1, se emplea la técnica DTW (Dynamic Time Warping). Fuente https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574119216301262	Sensores inteligentes integrados al teléfono Machine Learning
Desarrollo de un sistema coordinado de control de señales para circunvalaciones urbanas en el marco del entorno conectado entre vehículos e infraestructura. (2018) Ma CX; Hao, W Wang; Zhao HX	Sistema coordinado de control de semáforos para circunvalaciones urbanas en un entorno conectado entre vehículos e infraestructura, ajustando con el algoritmo ABC-SFL (salto artificial de ranas con colonia de abejas). El sistema de control de semáforos se probó con el modelo de simulación VISSIM mejorando los tiempos de demora. https://www.researchgate.net/publication/327613727_Developing_a_Coordinated_Signal_Control_System_for_Urban_Ring_Road_Under_the_Vehicle-Infrastructure_Connected_Environment	Sistema de semáforos interconectados Modelo de simulación
Inteligencia artificial y monitorización de la salud estructural de puentes: una revisión del estado del arte (2022) Zinno R ; Haghshenas, SS; Guido, G; Vltale, A	En el contexto de las ciudades inteligentes, tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), el big data y la inteligencia artificial (IA) están revolucionando la monitorización de la salud estructural (SHM) de infraestructuras. Se analiza cómo la IA puede optimizar los sistemas SHM basados en datos a lo largo del ciclo de vida de los puentes —desde la construcción hasta el mantenimiento— complementando así los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS). Fuente: https://ieeexplore.ieee.org/document/9858154	Internet de las cosas Big data Salud de la infraestructura Sistema Inteligente de transporte

Fuente: Elaboración propia basada en resultados del motor de búsqueda *Web of Science* (2025).



Distribución de publicaciones en el tiempo

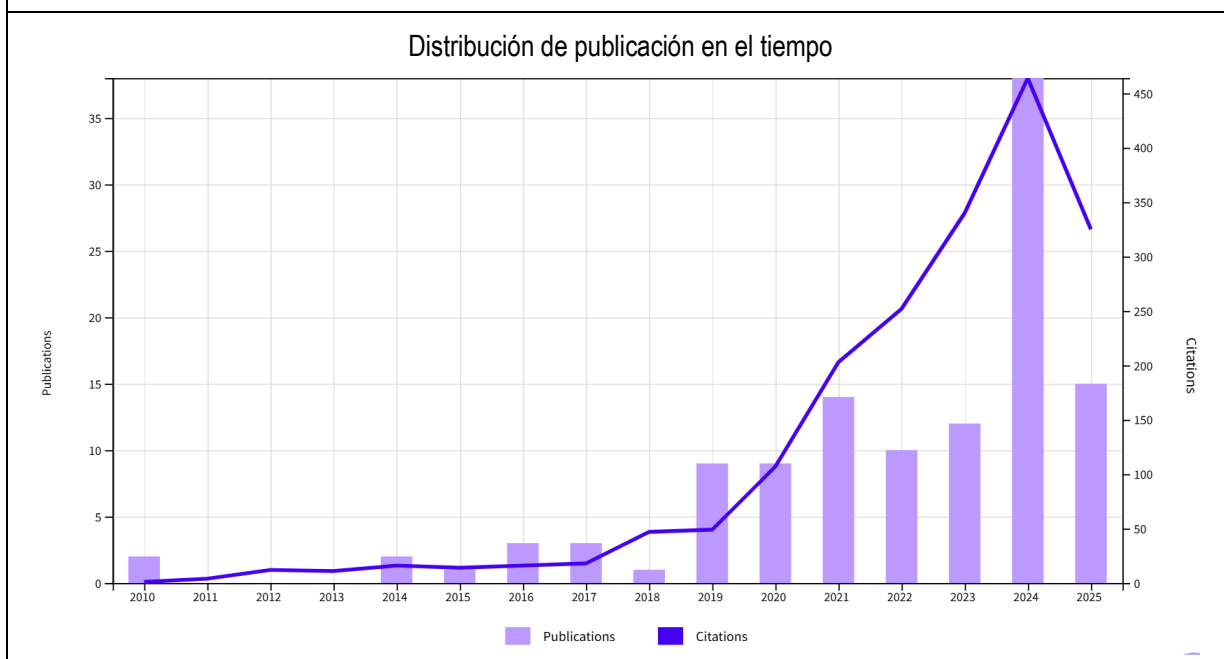


El comportamiento de publicaciones se disparó desde 2014 a la fecha con el mayor repunte en 2024, superando las 60 publicaciones.

Título – autor(es)	Resumen – fuente	Palabras clave
Resilience of Transportation Systems: Concepts and Comprehensive Review. (2020) Zhou YM; Wang JW; Yang H	Revisión de las métricas y modelos matemáticos utilizados para medir la resiliencia y las estrategias para mejorarla. Fuente: https://ieeexplore.ieee.org/document/8602445	Métricas para resiliencia Transporte resiliente
El impacto de las disrupciones portuarias en la cadena de suministro marítima: una revisión de la literatura (2019) Wendler-Bosco V; Nicholson C	El transporte marítimo es clave para el comercio internacional, y los puertos desempeñan un papel fundamental como puntos de conexión entre el transporte marítimo, terrestre y ferroviario. Sin embargo, la investigación sobre los impactos de las disrupciones portuarias y la resiliencia del sistema marítimo e intermodal aún es limitada requiere mayor exploración por el sector académico. Fuente: https://www.researchgate.net/publication/333057542_Port_disruption_impact_on_the_maritime_supply_chain_a_literature_review	Resiliencia portuaria Resiliencia Transporte intermodal Disrupciones portuarias
Evaluaciones ambientales, económicas y de rendimiento integradas de tecnologías de reciclaje en frío para pavimentos asfálticos. (2025) Sheng W; Li, Y; Chong D; Zhao KC; Wang, YH	Las tecnologías de reciclaje en frío para pavimentos asfálticos, como CCPREA (con emulsión) y CCPRFA (con espuma), ofrecen beneficios ambientales y de conservación. Este estudio propone un modelo de evaluación integrado que combina varios métodos para analizar su sostenibilidad en aspectos ambientales, económicos y de ingeniería. Fuente: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344925002149	Tecnologías de reciclaje en frío para pavimentos Ligares asfálticos espumosos

<p>Evaluación de la accesibilidad de instalaciones críticas y la criticidad de las carreteras considerando una falla parcial inducida por inundaciones. (2022) Gangwal U; Siders, AR; Horney J; Michael, HA; Dong SJ</p>	<p>Se aplica un modelo y métrica propuesta sobre la red de carreteras de Delaware bajo inundaciones de 100 años. Este modelo resalta el grave riesgo de pérdida de acceso a instalaciones críticas debido al aislamiento de las instalaciones por inundaciones. Fuente: https://www.researchgate.net/publication/365745757_Critical_facility_accessibility_and_road_criticality_assessment_considering_flood-induced_partial_failure</p>	<p>Infraestructura crítica Datos geoespaciales</p>
--	---	--

Categoría del árbol anterior: *Construction building technology* - Tecnología de construcción, cuenta con 119 publicaciones distribuida por año en el siguiente gráfico

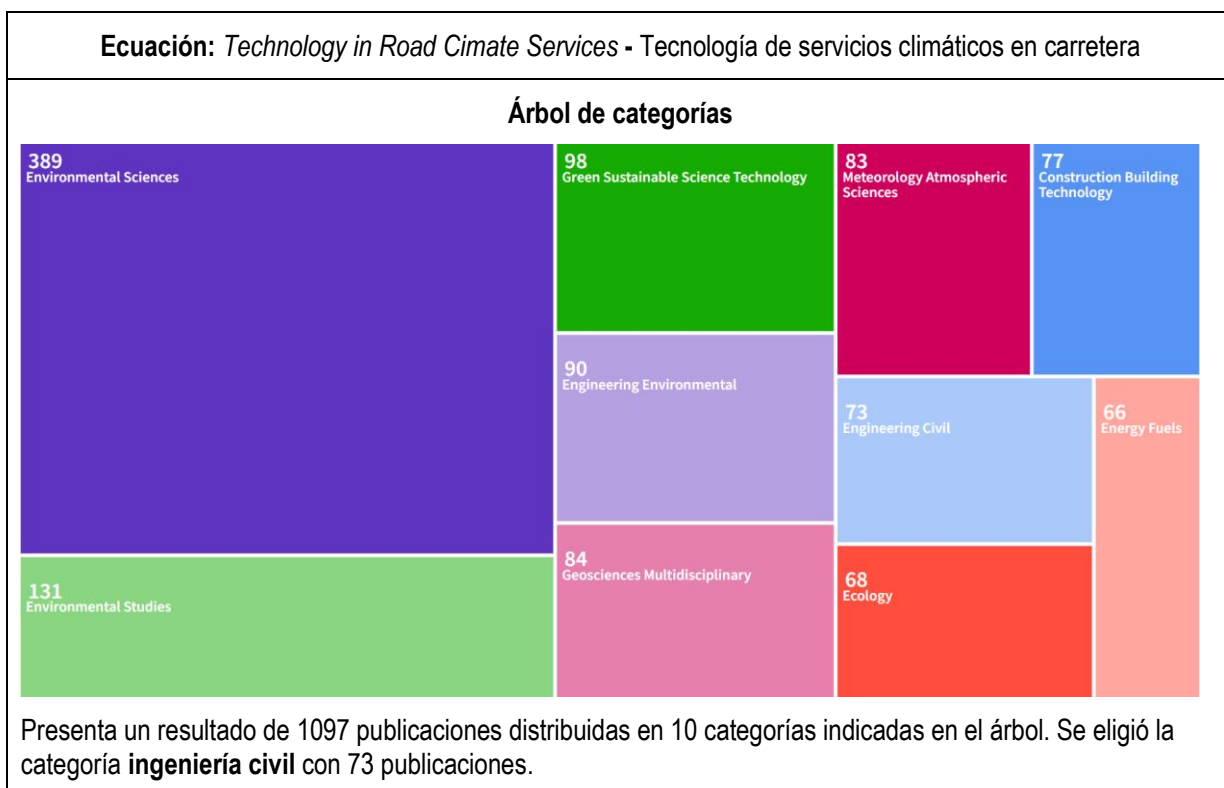


El tema ha sido de interés científico principalmente desde 2014, aunque en promedio han estado entre 5 y 15 por año. El principal repunte fue en 2024, con más de 35 artículos.

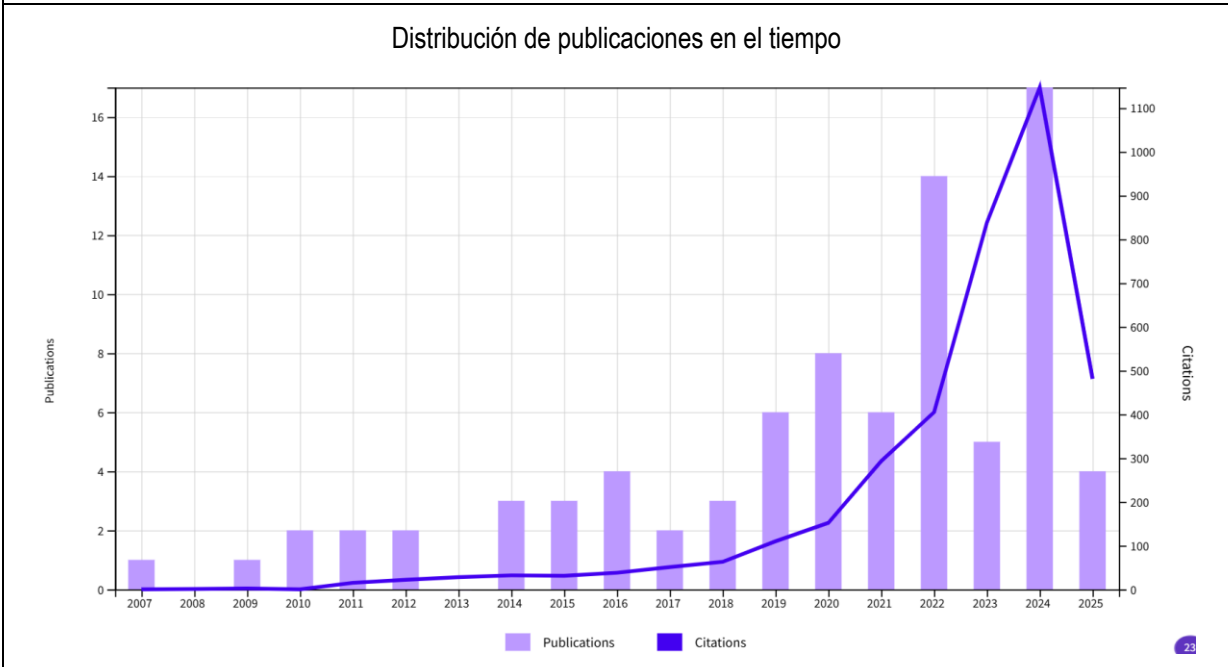
Título – autor(es)	Resumen – fuente	Palabras clave
<p>Hormigón de ultra alto rendimiento diseñado mediante nanoingeniería para una contracción autógena controlada mediante nanocelulosa (2020) Hisseine OA; Soliman NA; Tolnai B; Tagnit-Hamou, A Hamou</p>	<p>El hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) es ideal para infraestructuras resilientes por su alta resistencia y durabilidad, pero sufre retracción autógena, especialmente en aplicaciones in situ. Este estudio propone el uso de filamentos de celulosa a escala nanométrica como solución para mitigar ese problema. Fuente: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884620307262</p>	<p>Nanoingeniería Hormigon resiliente</p>
<p>Una revisión crítica de los sistemas de calificación de</p>	<p>Existen diversos sistemas de calificación para fomentar la sostenibilidad en proyectos viales, pero su comprensión e implementación aún es limitada.</p>	<p>Activos de transporte sostenibles y resilientes</p>

sostenibilidad de carreteras. (2020) Mattinzioli T ; Sol-Sánchez M; Martínez G; Rubio-Gámez M	Se analiza críticamente siete sistemas destacados a nivel global (CEEQUAL, Envision, BE2ST-in-Highways, Greenroads, GreenLITES, Invest y GreenPave), con los tres pilares de la sostenibilidad. Fuente: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720306673	
Evaluación de la resiliencia de la red de flujo de agua virtual a nivel de ciudad en la cuenca del río Amarillo, China (2025) Qingqing Ban, Guiliang Tian, Qing Xia, Yiyang Chen, Qiuya Zhao a, Xuechun Wan	Este estudio desarrolla una red de flujo de agua virtual a nivel de ciudad en la cuenca del río Amarillo y evalúa su resiliencia combinando ataques de simulación por computadora y un modelo de red complejo. Fuente https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670725004044	Gemelos digitales, Evaluación de resiliencia
Evaluación de la resiliencia de la infraestructura urbana basada en la relación riesgo-resiliencia: un estudio de caso de la ciudad de Zhengzhou (2025) Dong WL; Zhou YH; Guo DL; Chen ZH; Wang JW	El estudio se ubica en la ciudad de Zhengzhou aplica varios índices para evaluar el riesgo y la resiliencia de la infraestructura tomando en cuenta la variedad de las escalas espaciales, brinda propuestas para mejora la resiliencia de la infraestructura, considerando varias alternativas de riesgos. Fuente https://www.researchgate.net/publication/389529342_Evaluation_of_Urban_Infrastructure_Resilience_Based_on_Risk-Resilience_Coupling_A_Case_Study_of_Zhengzhou_City	Ciudades resilientes Índice de evaluación de riesgo y resiliencia Resiliencia en infraestructura

Fuente: Elaboración propia basada en resultados del motor de búsqueda *Web of Science* (2025).



En el gráfico de publicaciones por año, se muestra un número bajo porque no han superado las 18, aunque el interés se ha mantenido constante principalmente desde el 2014 a la fecha

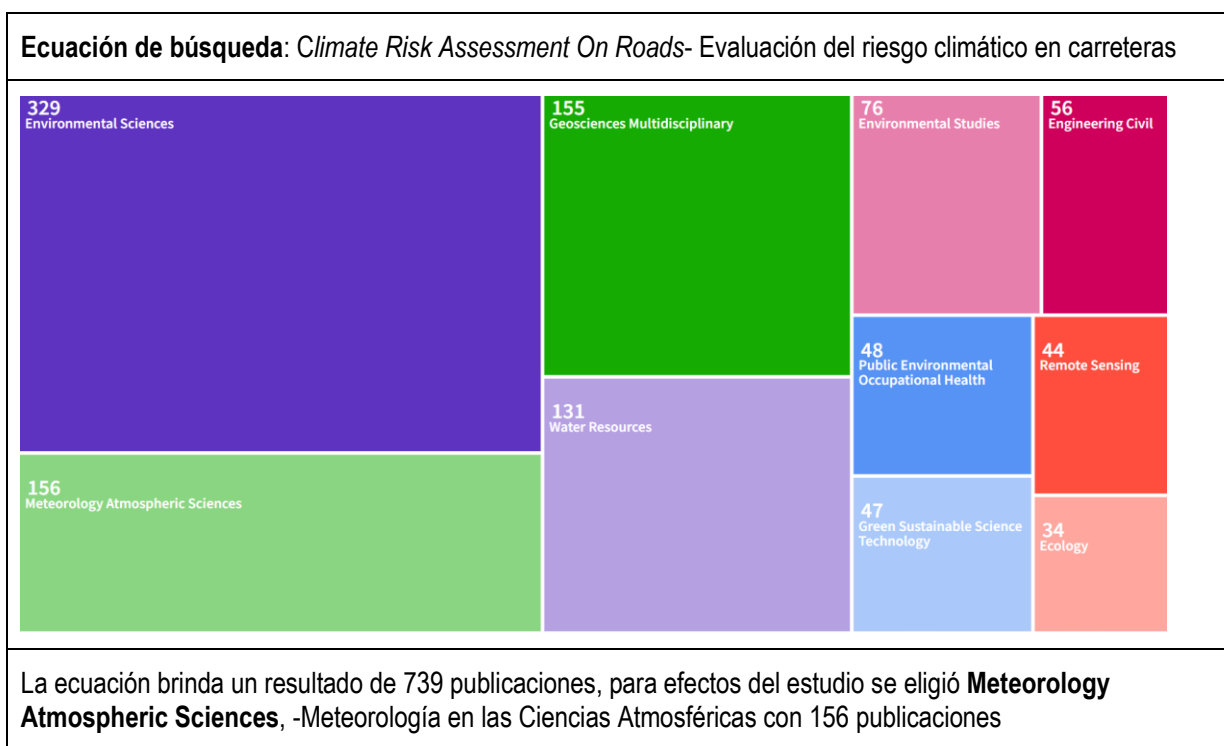


La distribución de publicaciones anuales, presenta continuidad desde el 2014 a la fecha, aunque previo a ese año solamente se reportaron 2 por año en 2007, 2009 al 2012. Los años con mayor reporte son el 2022 y 2024

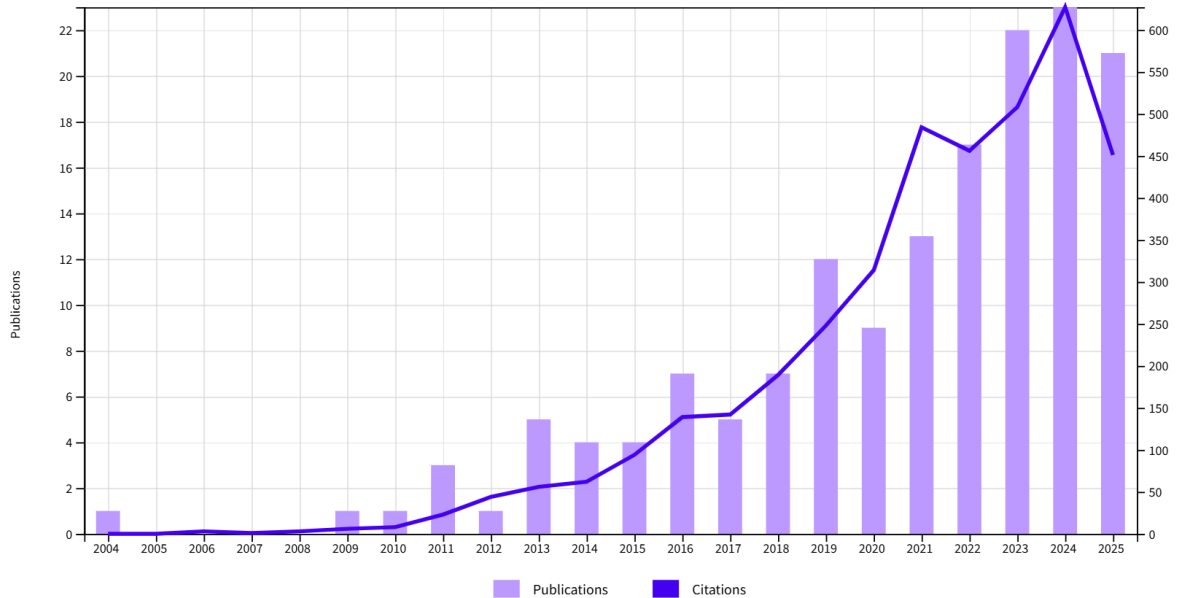
Título – autor(es)	Resumen – fuente	Palabras clave
Emisiones de gases de efecto invernadero del transporte por carretera y su valor económico en la evaluación de proyectos de transporte mediante un análisis coste-beneficio: enfoques aplicados en la República Eslovaca y en algunos países de Europa Central. (2025) Konecny V; Zuzaniak M; Jonasíková D	Este estudio analiza las diferencias en las metodologías de Análisis Coste-Beneficio (CBA) aplicadas en Eslovaquia y otros países de Europa Central, considerando la evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en proyectos de transporte por carretera. Fuente: https://www.researchgate.net/publication/388438655_Greenhouse_Gas_Emissions_from_Road_Transport_and_Their_Economic_Value_in_the_Assessment_of_Transport_Projects_Using_a_Cost-Benefit_Analysis_Approaches_Implemented_in_the_Slovak_Republic_and_Selected_C	Gases de efecto invernadero Inversión en infraestructura de transporte
Formación de olas de calor marinas en el mar de China Oriental durante los inviernos de El Niño y La Niña (2025) Xiuming Li; Renguang Wu; Xiaojing Jia; Wen-Jun Zhang	Análisis de la formación de olas de calor marinas (MHW) en el invierno del Mar de China Oriental, lo que ocurren con intensidad similar en inviernos Niño como de La Niña, aunque ambos fenómenos climáticos suelen inducir anomalías opuestas. Se identifica como factor importante el aumento de la temperatura superficial del mar (TSM) Fuente: https://www.researchgate.net/publication/392527875_Formation_of_marine_heatwaves_in_the_East_China_sea_in_El_Niño_and_La_Niña_winters	Variabilidad climática; Olas de calor Calentamiento del océano

<p>Predicción de la probabilidad de daños por inundaciones en los Estados Unidos contiguos. (2022) Collins EL; Sanchez GM; Terando A; Stillwell CC; Mitasova H; Sebastian A; Meentemeyer, RK</p>	<p>Uso y aplicación de datos geoespaciales en modelación con aprendizaje automático para crear el primer mapa sobre la probabilidad de daños por inundación (FDP) en todo el país, considerando el registro histórico de más de 71,000 eventos y otros factores ambientales, sociales y geográficos. Fuente: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac4f0f</p>	<p>Datos geoespaciales abiertos Modelos de Probabilidad de inundación Modelos de aprendizaje incompleto</p>
--	--	--

Fuente: Elaboración propia basada en resultados del motor de búsqueda *Web of Science* (2025).



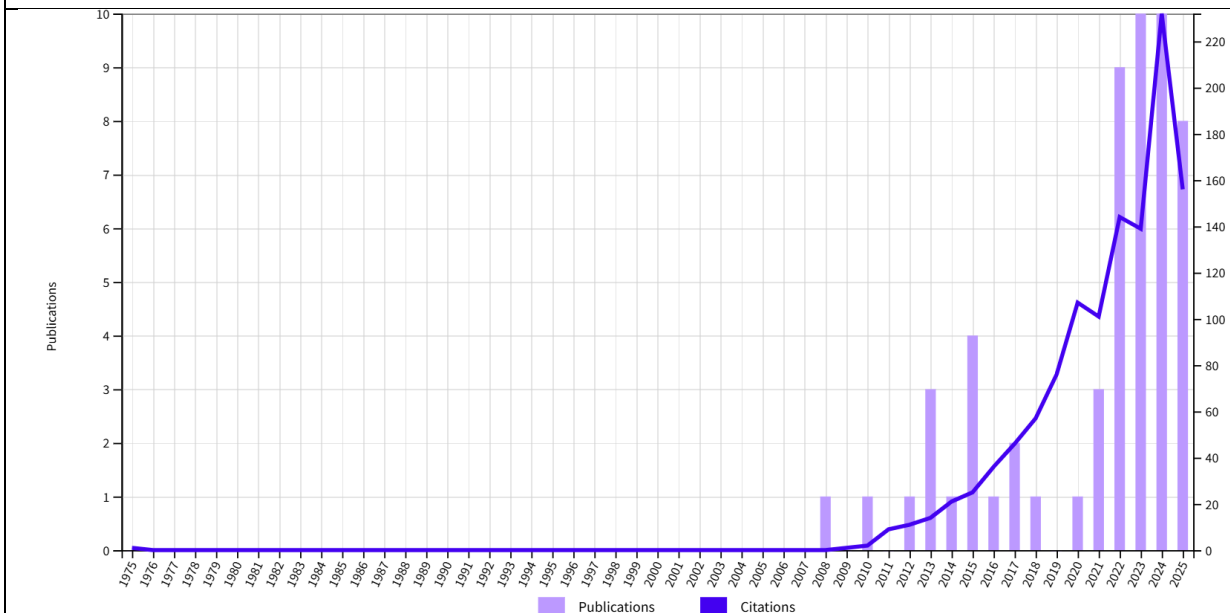
Distribución de las publicaciones en el tiempo



El gráfico muestra la evolución y constancia del tema, mostrando un crecimiento constante desde el año 2013

Título – autor(es)	Resumen – fuente	Palabras clave
<p>El calentamiento climático modifica las respuestas hidrológicas en los Ghats occidentales meridionales y las llanuras costeras occidentales (India): perspectivas de las simulaciones CMIP6-VIC Thomas J; Rohith AN; Sebastian DE; Nizar S ; Jainet PJ; Vema VK; Sudheer KP</p>	<p>Aplicación de evaluación de impactos del cambio climático en la hidrología regional, utiliza nueve Modelos de Circulación General (GCM) del CMIP6 y simulación de flujos hidrológicos - modelo de Capacidad de Infiltración Variable (VIC), considerando los escenarios climáticos SSP245 y SSP585, especialmente durante la temporada del Monzón de Verano Indio (ISM). Fuente: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479725012289</p>	<p>Calentamiento climático Escenarios climáticos</p>

En el mismo resultado del árbol se eligió la categoría en ingeniería civil con 56 publicaciones, distribuidas en el siguiente gráfico de publicaciones en el tiempo:



Título – autor(es)	Resumen – fuente	Palabras clave
Modelo híbrido de predicción del flujo de tráfico para escenarios de emergencia con escasos datos históricos. (2025) Gao, XY ; Ci, YS; Yuen, KF; Wu LN; Li RM	Ejemplo de modelo predictivo híbrido que integra varios programas (Prophet y DeepAR -Probabilistic Forecasting with Autoregressive Recurrent Networks- para mejorar la predicción del volumen de tráfico. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197625002192	Modelo predictivo
Evaluación del riesgo de inundaciones y capacidad de afrontamiento en el centro de Vietnam. (2017) Vu TT ; Ranzi, R	Ejemplo de estudios con mapas de riesgo de inundación en la provincia de Quang Ngai, -Vietnam, utilizando el modelo hidrodinámico FLO-2D, contribuye a los planes de gestión de inundaciones para mitigar los daños. Fuente: https://www.researchgate.net/publication/258772321_Flood_risk_assessment_and_coping_capacity_of_floods_in_central_Vietnam	Modelo hidrodinámico Gestión del Riesgo y Desastre
Resiliencia versus riesgo: evaluación del costo de la adaptación al cambio climático en el sistema de transporte de California y la ciudad de Sacramento, California. (2015). Schweikert A; Espinet X; Goldstein S Chinowsky P	Análisis de los impactos de factores de estrés climático en la infraestructura vial, para comprender la vulnerabilidad, el riesgo y valorar las soluciones de adaptación en busca de infraestructura vial resiliente. Fuente: https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2532-02	Planificación de Transporte Costo de Adaptación al CC
Medición de la resiliencia de la red vial mediante el índice de pérdida de capacidad de servicio de enlaces viales críticos. (2022)	Es importante cuantificar los fallos de los componentes de la red vial para valorar la funcionalidad del sistema, tomando en cuenta el tiempo que se tarda en restaurar el servicio. Se aplicó el análisis de red del OSMnx de Python, basado en el mapa base de red vial de OpenStreetMap, sobre una autopista española. La metodología evalúa la	Índice de pérdida de capacidades de servicio de enlaces viales críticos

lentile S; Bianne, G; Chevalier C; Schmidt, F; Rasol M; Orcesi, A; Adelaide L; Nedjar B

influencia de las conexiones viales en las estrategias de evaluación y gestión de riesgos por parte de los propietarios y administradores de la infraestructura vial.

<https://hal.science/hal-03663894/document>

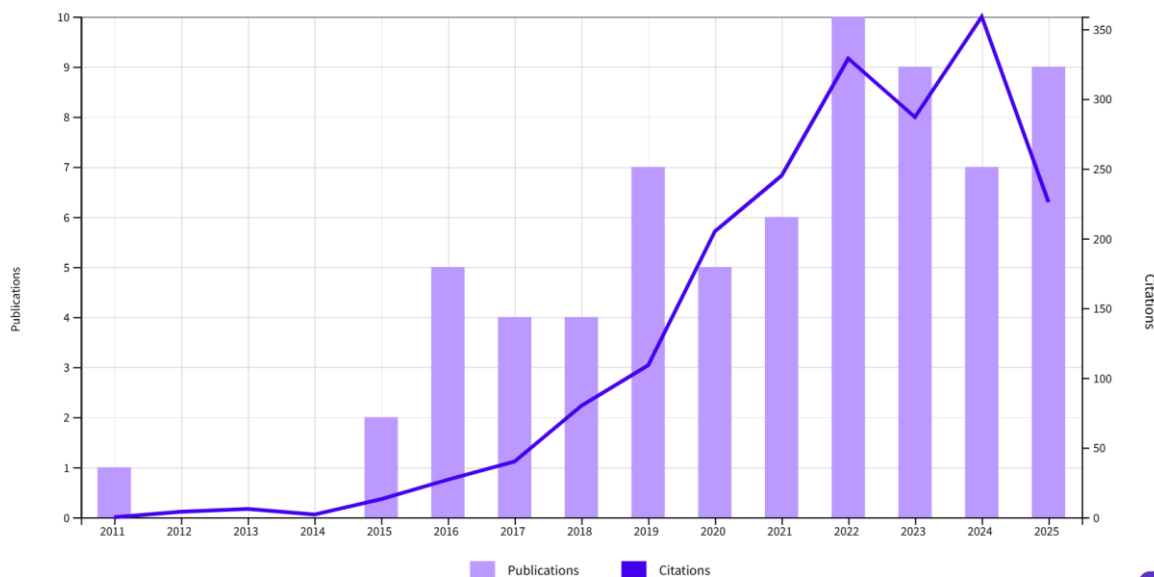
Fuente: Elaboración propia basada en resultados del motor de búsqueda *Web of Science* (2025).

Ecuación de búsqueda: *Climate information for road risk and disaster management* - Información climática para gestión de riesgos y desastres en carreteras



Esta consulta fue más específica que la anterior y redujo el número a 179 publicaciones en la categoría Geosciences Multidisciplinary- Geociencias Multidisciplinarias

Este vistazo en la vigilancia es importante para considerar los estudios en la tecnología de observaciones de la tierra. Distribución de publicaciones en el tiempo



Algunos ejemplos																																			
Título – autor(es)	Resumen – fuente	Palabras clave																																	
Modelado socioespacial basado en agentes de interacciones acopladas entre humanos y inundaciones a lo largo de la costa del Reino Unido. (2025). Breen MJ; Kebede AS; König, CS	Se utilizaron proyecciones de niveles extremos de zonas costeras en conjunto con la dinámica poblacional. El modelo brinda simulaciones y sus resultados permiten valorar estrategias de gestión costera adaptativas y resilientes en un clima cambiante. Fuente: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2634-4505/addeeb	Adaptación costera Modelos de simulación																																	
Revisión sobre la modelización del impacto social de las interrupciones de infraestructura debido a desastres. (2024) Yang, YS; Liu, H; Mostafavi A; Tatano, H	Se hace una valoración de los sistemas de infraestructura tomando en cuenta su importancia en el funcionamiento social y económico ante la ocurrencia de un evento extremo, aplicando 4 enfoques diferentes (modelado de infraestructura extendidos, empíricos, basados en agentes y basados en big data). Fuente: https://arxiv.org/pdf/2405.12732	Big data																																	
Se eligió otra categoría del árbol, Remote sensing- Sensores remotos- con 15 publicaciones																																			
<p style="text-align: center;">Distribución de publicaciones en el tiempo</p> <p>Aunque son pocas las publicaciones, es importante su valoración como parte de la tecnología de las observaciones de la tierra.</p> <table border="1"> <caption>Data for 'Distribución de publicaciones en el tiempo'</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Publicaciones</th> <th>Citaciones</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2016</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>2017</td><td>0</td><td>5</td></tr> <tr><td>2018</td><td>0</td><td>2</td></tr> <tr><td>2019</td><td>2</td><td>10</td></tr> <tr><td>2020</td><td>3</td><td>20</td></tr> <tr><td>2021</td><td>5</td><td>75</td></tr> <tr><td>2022</td><td>2</td><td>70</td></tr> <tr><td>2023</td><td>0</td><td>72</td></tr> <tr><td>2024</td><td>2</td><td>75</td></tr> <tr><td>2025</td><td>0</td><td>35</td></tr> </tbody> </table>			Año	Publicaciones	Citaciones	2016	1	0	2017	0	5	2018	0	2	2019	2	10	2020	3	20	2021	5	75	2022	2	70	2023	0	72	2024	2	75	2025	0	35
Año	Publicaciones	Citaciones																																	
2016	1	0																																	
2017	0	5																																	
2018	0	2																																	
2019	2	10																																	
2020	3	20																																	
2021	5	75																																	
2022	2	70																																	
2023	0	72																																	
2024	2	75																																	
2025	0	35																																	
Título – autor(es)	Resumen – fuente	Palabras clave																																	
Estudio de la estabilidad de laderas en el valle de Lower Tons, Himalaya de Garhwal, India. (2020) Kainthola A; Sharma V; Pandey VHR; Jayal T; Singh	La investigación aplica la teledetección para caracterizar aspectos geomorfológicos e hidrológicos de la zona, útil para delimitar las zonas vulnerables. Se hicieron análisis de suelo (distribución de partículas, índices de plasticidad, y de resistencia)	Teledetección Geomorfología Hidrología																																	

M; Srivastav A; Singh PK; Ray PKC; Singh TN	Fuente: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2021.1906758	
Mapeo del riesgo de inundaciones mediante IA geoespacial en redes viales nacionales. (2024) Rezvani, SMHS; Silva, MJF; de Almeida NM	El análisis integra la potencialidad de la inteligencia artificial en cartografía de riesgos, evaluando riesgo por inundación en las redes viales de los municipios. Utiliza el mapa abierto OpenStreetMap para valorar la vulnerabilidad en zonas de peligro identificadas. Fuente: https://www.researchgate.net/publication/383898499_Mapping_Geospatial_AI_Flood_Risk_in_National_Road_Networks	Inteligencia Artificial Riesgo de inundación

Fuente: Elaboración propia basada en resultados del motor de búsqueda *Web of Science* (2025).

Análisis competitivo del Sector y sus aliados estratégicos

Se realizó este análisis considerando los actores identificados en la Matriz de Banco de Señales. La exploración del entorno permitió identificar potencialidades para el objeto de estudio de esta investigación. Estos actores se conciben como aliados para el aprendizaje del futuro, según la evolución que presenten a lo largo del tiempo. Por esta razón, resulta relevante identificarlos y continuar con la observación de su dinámica de trabajo. También se requiere examinar sus enfoques de mercado, el uso que asignan a la tecnología, las tendencias en las que se desenvuelven y los productos que generan. Estas acciones favorecen la identificación de las capacidades que, eventualmente, deben reforzarse en el ámbito del objeto de estudio con el fin de anticiparse a futuros escenarios.

Este sector de posibles aliados se ubica en ámbitos del conocimiento que benefician la planificación y la gestión territorial. Producen datos e información en áreas relacionadas con el clima, la gestión de riesgos en desastres y el cambio climático, para espacios continentales, marinos y costeros. Todo ello aporta insumos para la infraestructura de servicios de transporte del país. Se trata de centros que cuentan con recursos y que emplean instrumentos, laboratorios, herramientas y capacidades para generar datos e información científica. Algunos trabajan con escenarios climáticos y de mareas, con gestión de riesgo y desastres, o con tendencias tecnológicas vinculadas con la IA y las observaciones de la Tierra. Cada aporte técnico y científico contribuye al valor público de mantener el bucle reforzador señalado en la dinámica de sistemas (figura 15, p. 54) en cuanto a conocimiento, herramientas y capacidades para fortalecer la resiliencia de la infraestructura de obra pública y de transportes frente al cambio climático.

Este análisis presenta la agrupación de los actores por macrogrupos (tabla 34). Se distinguen, a nivel nacional e internacional, las siguientes categorías: centros internacionales (C.I.) de investigación, centros tecnológicos (C.T.), instituciones gubernamentales (I.G.), repositorios universitarios (R.U.) e instancias de gobierno con programas o laboratorios afines a la temática de esta investigación.

Tabla 34. Actores identificados en la Matriz Banco de Señales

Actores internacionales	Actores nacionales
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Aseguradoras
C.I de Investigación en Transporte	C. T de Costa Rica (INTEL, PRIAS)
C.I de Investigación Unión Europea	Centro de Investigación Costa Rica (CIGEFI, LANAME, CATIE, SINAMOT, CIMAR, IMARES, CIVCO)
C.I Tecnológico	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
C.T España	I.G Costa Rica (CNE, IMN)
Empresas Consultoras	Legislación
Cursos universitarios	INTECO
I.G Internacional de Transporte	R.U UCR, UNA
Organismo de la ONU	Universidades en el país.
Plataforma climática	
Plataformas geoespaciales	
Universidades	
R.U Chile, País Vasco, Perú	

Fuente: Elaboración propia, a partir de la Matriz del Banco de Señales (2025).

Ámbito nacional de competitividad

Para este análisis se recabó información desde los sitios oficiales de cada entidad. En algunos casos se recurrió a comunicaciones personales para ampliar los datos disponibles. Esta recopilación permitió analizar los recursos humanos, tecnológicos, especializados y los procesos con los que cuentan actualmente estos centros, así como visualizar el futuro deseado para la gestión del conocimiento en el Sector de Obras Públicas y Transportes.

Centro de Investigación del CATIE - Unidad de Acción Climática

Esta Unidad desarrolla diversos ámbitos de trabajo en el campo de la agricultura, particularmente en café, cacao y ganadería. También aborda temas hídricos y de economía ambiental bajo un enfoque de adaptación, considerando la variabilidad del clima. Se procura integrar estrategias que generen sinergias entre adaptación y mitigación, de modo que las intervenciones en un territorio combinen ambos tipos de medidas.

A partir de la planificación en adaptación climática se han producido los siguientes resultados:

- Impacto del cambio climático sobre los ecosistemas en ambientes de agua y biodiversidad a escala regional, nacional y local.
- Valoración de la capacidad de adaptación frente a la vulnerabilidad.
- Diseño de estrategias para la adaptación, orientadas a reducir la vulnerabilidad y con enfoque en disminuir la migración.
- Sinergias mediante soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del riesgo y los desastres y para la adaptación.
- Análisis de amenazas basadas en ecosistemas, considerando la interacción entre clima, territorio y estado del ecosistema. Esta valoración del estado del ecosistema se incorpora en los análisis de gestión del riesgo con enfoque de adaptación.

- Restauración de ecosistemas. Se ha brindado colaboración técnica en un proyecto de República Dominicana que requiere construir una carretera que atraviesa un manglar en territorios con actividad ganadera en las inmediaciones. Este trabajo demanda un análisis integral.

La Unidad cuenta con un Laboratorio de Modelado Ecosistémico conformado por un “equipo multidisciplinario con capacidades analíticas de los sistemas socioecológicos mediante el uso de sensores remotos, sistemas de información geográfica y modelos para capturar las dinámicas biofísicas, socioeconómicas y políticas en diferentes horizontes temporales, y su integración en sistemas de información geoespaciales que apoyan la toma de decisiones. Nuestros ejes de trabajo incluyen: SIG y sensores remotos, modelado ambiental, modelado socioeconómico y creación de portales geoespaciales” (Unidad Acción Climática, s. f.).

La capacidad del Laboratorio permite trabajar con altos volúmenes de información. También se cuenta con la capacidad para generar portales y sistemas de información geográfica con un enfoque de diseño centrado en usuarios. En cuanto al uso de programas especializados para datos geoespaciales, se utilizan Esri Enterprise (licencia educativa para 500 usuarios), QGIS (código abierto), ENVI (licenciado) y Google Engine (según la aplicación y los datos requeridos). Los resultados permiten desarrollar aplicaciones móviles para captura de datos y ampliar la oferta de servicios. Asimismo, se emplean plataformas para el procesamiento de imágenes satelitales como Drone-Deploy (con costo variable según el número de imágenes procesadas) y OpenDroneMap (ejecutado directamente en discos locales, por lo que se recomienda un uso esporádico y no masivo) (L. Corrales, comunicación personal, 16 de noviembre del 2022).

En cuanto al almacenamiento, se utilizan servidores físicos y servicios en la nube. Se ha trabajado con Digital Ocean para desarrollar varios procesos asociados con venta de servicios. La experiencia con almacenamiento en la nube ha incluido dos modalidades. El almacenamiento diario permite subir y descargar datos con mayor frecuencia, aunque implica un costo más elevado. El almacenamiento en frío establece límites en la cantidad de datos que pueden cargarse o descargarse; en este caso, la transferencia debe realizarse con poca frecuencia, por ejemplo, una vez al año (L. Corrales, comunicación personal, 16 de noviembre del 2022).

SINAMOT

Es el Sistema Nacional de Monitoreo de Tsunamis de Costa Rica, programa del Departamento de Física de la Universidad Nacional de Costa Rica. Su misión es reducir el riesgo de desastres por tsunamis en el país y contribuir a la concientización y reducción del riesgo asociado con esta amenaza. Para este fin, se monitorea el nivel del mar en ambas costas del país y se genera investigación científica. El Sistema ha sido designado por el Gobierno de Costa Rica ante la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (IOC) de la UNESCO como el Centro Nacional de Alerta de Tsunamis (NTWC, por sus siglas en inglés). Además, trabaja en coordinación con la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE) (SINAMOT, s. f.).

En su página web se identifican diversos recursos informativos. Entre ellos se encuentra el Mapa de registros de tsunamis en el país, que presenta eventos desde los años 1746 y 1846 hasta registros del año 2011. En este material se documentan comportamientos anormales del mar, corrientes fuertes, inundaciones, daños por corrientes, afectaciones en tierra por inundaciones y personas fallecidas.

Programa Institucional de Gestión Integral del Riesgo de Desastres - PIGRD/UNA

Es un programa y eje estratégico adscrito a la Vicerrectoría de Extensión de la Universidad Nacional de Costa Rica. Desde el año 2010 ha desarrollado acciones y recursos articulados con el quehacer académico, así como apoyo en la ejecución y cumplimiento de iniciativas vinculadas con la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD) tanto a nivel institucional como local-comunitario y nacional.

Una de las acciones que contribuye a la gestión de datos y conocimiento es la base de datos DesInventar, administrada por el Programa. Esta base reúne información sobre pérdidas y daños asociados con riesgos de desastres y con efectos ocasionados por emergencias o desastres en el mundo. Almacena un inventario histórico de efectos de desastres que resume, de manera espacial y temporal, los daños y pérdidas provocados por distintos eventos en el territorio y en la sociedad. El Programa se encarga de su actualización y, para el periodo 1970-2021, registraba un total de 21 237 eventos (fichas) ocurridos en el país (Orozco y Brenes, 2022).

Departamento de Sostenibilidad y Cambio Climático- CFIA

El Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), en sesión de Junta Directiva del 8 de febrero del año 2022, creó el Departamento de Sostenibilidad y Cambio Climático como parte del proyecto *Mejorando los servicios climáticos para inversiones en infraestructura*. El objetivo del Departamento “es impulsar el desarrollo de comunidades resilientes ante los impactos del cambio climático, no solamente a través de la creación de capacidades en personas tomadoras de decisión, líderes comunales y equipos profesionales y técnicos, sino también mediante la participación del CFIA en diferentes iniciativas y proyectos enfocados en adaptación...” (CFIA, s. f.).

En el año 2024 se anunció la articulación del CFIA con el MINAE y ONU-Hábitat en un “proyecto financiado con recursos propios y del Fondo Verde del Clima (FVC) (...) el Código Costarricense de Adaptación al Cambio Climático, el cual se enfocará en tres sectores de infraestructura críticos: agua y saneamiento, infraestructura vial y vivienda. El objetivo principal es brindar criterios que permitan mejorar la capacidad de adaptación de la infraestructura de los sectores prioritarios, con el fin de aumentar la resiliencia de las comunidades ante eventos extremos” (Revista CFIA, 2024).

Esta iniciativa generará información relativa al enfoque adaptativo en infraestructura y brindará medidas para ser implementadas en los proyectos de infraestructura del país.

Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO)- TEC.

De la Escuela de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica, el CIVCO es un centro de investigación “en el campo de la construcción, con énfasis en vivienda e infraestructura, proyectos de extensión y vinculación con sectores públicos y privados a nivel nacional e internacional”. Cuenta con enfoque de asesorías, consultorías y asistencia técnica a través del LabCIVCO, y apoyo a los programas académicos del TEC.

Laboratorio PRIAS

Es un laboratorio de ciencia y tecnología del Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT). Uno de sus ejes es la geomática, con énfasis en la observación de elementos sobre la Tierra. Desarrolla estudios ambientales y cartográficos para apoyar la toma de decisiones que sustentan políticas públicas nacionales e internacionales. También actúa como enlace nacional para misiones aerotransportadas de carácter científico. Su ámbito de investigación abarca la geodesia, la infraestructura de datos espaciales, los sistemas de información geográfica, las ciencias de la computación, la fotogrametría y las misiones aerotransportadas (PRIAS, s. f.).

Dentro de las especialidades requeridas para su operación se incluyen la geografía, la cartografía, las ciencias de la administración, las ciencias forestales, la computación, la topografía y la topología. Como parte de los productos generados para otras instituciones destaca el diseño y funcionamiento de la plataforma tecnológica del SIMOCUTE, Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra y Ecosistemas del MINAE. Esta herramienta permite el seguimiento del estado y los cambios de los recursos naturales, agropecuarios y de biodiversidad de Costa Rica.

Laboratorio Colaborativo de Innovación Pública (Innovap) – UCR.

Innovap (s.f) es una “plataforma de co-creación entre la academia, la Administración Pública y otros actores sociales, enfocada en la resolución de problemas públicos, a través de alternativas sostenibles y de alto valor para la ciudadanía”. Sus áreas de trabajo de innovación del servicio público, datos para el desarrollo, innovación social y comunicación.

Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales (CICIMA) – UCR.

Es un centro abocado al desarrollo de la nanotecnología en el país y dedicado a la investigación científica y tecnológica sobre el estudio de nanomateriales para su adaptación a procesos industriales.

Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) – UCR.

Su campo de trabajo corresponde a las ciencias marinas y aguas continentales. Desarrolla investigación científica y nuevo conocimiento para apoyar la conservación, el aprovechamiento sustentable y la toma de decisiones sobre los recursos acuáticos. Cuenta con varios módulos de investigación y con laboratorios, entre ellos el de Información Oceanográfica (MIO) (CIMAR, s. f.).

Centro de Investigaciones en Tecnologías de Información y Comunicación (CITIC) – UCR.

Se centra en la investigación, innovación y desarrollo de TIC. Ofrece soluciones acordes con las necesidades y expectativas de distintos sectores de la sociedad, impulsando el desarrollo tecnológico y del conocimiento.

Unidad de Ingeniería Marítima de Ríos y Estuarios (IMARES) – UCR.

Comparte herramientas orientadas a mejorar la calidad del diseño de obras costeras y realiza gestión y manejo de ecosistemas marinos y costeros. Dentro de sus capacidades se encuentra la “determinación de condiciones de oleaje y caudales extraordinarios, zonas de inundación, peligro de erosión y transporte de sedimentos; además de la propagación numérica del oleaje y de ondas de marea y el diseño de obras de protección y abrigo, tanto fluviales como costeras”.

Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) – UCR.

Es un centro de investigación que trabaja con el Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria de la Universidad de Costa Rica. Forma parte de la Vicerrectoría de Investigación. Sus áreas de trabajo se enfocan en clima, variabilidad climática, cambio climático e hidrología. Además, integra el Laboratorio de Observación del Sistema Climático (LOSIC).

El LOSIC es un laboratorio orientado a “generar conocimiento e información para diferentes sectores de interés (por ejemplo: agricultura, turismo, transporte) partiendo de investigación con instrumentos en superficie y satélites...”. Este laboratorio se enfoca en el desarrollo de instrumentación y en el monitoreo *in situ*. También cuenta con aplicaciones satelitales y desarrolla investigación con enfoque interactivo superficie-atmósfera (bosques, cultivo, mar, impacto sobre ecosistemas y tecnología avanzada) (LOSIC, s. f.).

Según conversación con E. Rivera (comunicación personal, 20 de junio del 2025), es un centro que desarrolla instrumentos de bajo costo para el registro de datos meteorológicos en tiempo real. Esta información es utilizada por las comisiones de emergencia de las distintas sedes universitarias de la UCR. Se han realizado trabajos con instituciones públicas y corporaciones privadas. Algunos ejemplos incluyen estudios de potencial eólico, análisis de condiciones regionales del clima basados en datos de temperatura y precipitación, elaboración de

escenarios climáticos para Centroamérica, estudios de balance hídrico y modelación de escenarios con trayectorias de posibles impactos de ciclones tropicales en el territorio, lo que facilita identificar las zonas más afectadas.

El campo de trabajo del Centro abarca el estudio del clima, la variabilidad y el cambio climático, el pronóstico climático, los modelos estadísticos y numéricos, la hidrología de aguas superficiales y la hidroclimatología. También, comprende la prevención y mitigación de desastres naturales, el análisis de imágenes satelitales, el procesamiento, la simulación y el modelaje de sistemas complejos, el pronóstico de oleaje producido por huracanes, el análisis digital de datos geofísicos y los procesos dinámicos costeros. Asimismo, incluye la capacitación en ciencias de la atmósfera, la meteorología satelital y las técnicas de diagnóstico y pronóstico de oleaje (CIGEFI, s. f.).

Como parte del equipo tecnológico y de los recursos con los que generan información, se destacan los siguientes elementos:

- **Estaciones meteorológicas:** están equipadas con sensores ubicados en torres a diferentes alturas. Registran y transmiten información meteorológica de manera automática. Monitorean lluvia, temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, radiación solar y presión atmosférica. Los datos se utilizan para fines académicos y para usuarios externos. La red se distribuye en la Región Central, Pacífico Norte y región Brunca (San Pedro-MO, San Ramón, Paraíso, Oreamuno, Rivas, Nicoya, Liberia, Coto Brus). Actualmente carece de estaciones en la región Caribe, Norte, Pacífico Central y Sur.
- **Topología de clúster:** El Centro cuenta con un clúster computacional. Según CIGEFI (s. f.), “cuenta con un nuevo y moderno clúster de computadoras con 30 nodos esclavos distribuidos en varias familias que contabilizan 60 procesadores y 800 cores, con 1920 GB de memoria RAM. Este clúster cuenta con un nodo *máster* y con 3 servidores NAS para almacenamiento distribuidos en 2 de 128 TB y uno de 128 TB. Se encuentra implementado con CentOS 7 como sistema operativo. Este equipo de alto rendimiento y capacidad computacional permitirá incursionar en estudios de cambio climático con técnicas de reducción de escala dinámica”. Se trata de un equipo de alto rendimiento que facilita el análisis de grandes volúmenes de datos. Para este tipo de estudios se requiere procesar información asociada con periodos de 40 o más años para variables como la precipitación o para varias variables simultáneamente (E. Rivera, comunicación personal, 20 de junio del 2025).
- **Uso de programas especializados:** Se emplean programas de código abierto para el procesamiento de datos climáticos, los cuales requieren con frecuencia el sistema operativo Linux. También, se realizan labores de programación mediante Python, InfluxDB, SQL Server o programas SIG (E. Rivera, comunicación personal, 20 de junio del 2025).
- **Repositorio institucional:** se utiliza Kérwá de la Universidad de Costa Rica, donde se publican las investigaciones realizadas. Como parte de los procesos de transferencia de conocimiento, se organizan minicongresos como ejercicio de rendición de cuentas del trabajo científico (E. Rivera, comunicación personal, 20 de junio del 2025).

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) - UCR.

Es un centro de investigación que forma parte de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. Es también un laboratorio adscrito a la Escuela de Ingeniería Civil de dicha universidad, especializado en investigación aplicada, docencia y transferencia tecnológica en el campo de la protección de la infraestructura

civil, vial y de líneas vitales. Está conformado por cuatro grandes laboratorios en las áreas de construcción, transporte y pavimentos, fuerza y Liberia. Además, incluye tres programas especializados en ingeniería estructural, geotécnica e infraestructura del transporte.

Respecto al Programa de Infraestructura de Transporte (PITRA), este busca contribuir al desarrollo y conservación de la infraestructura de transportes del país con el fin de mejorar la calidad de vida y la competitividad de la ciudadanía (Lanamme, s. f.).

El PITRA se guía por cuatro pilares que coinciden con los componentes de la gestión del conocimiento planteados en el marco teórico de esta investigación en relación con el recurso humano, el uso de tecnología y los procesos necesarios para la transferencia del conocimiento. En el caso del PITRA, sus pilares son los siguientes:

1. **Capital humano.** Se promueve la formación continua del personal en cumplimiento de las áreas de conocimiento que deben atender según la normativa.
2. **Gestión del conocimiento.** Se administran programas de investigación, se publica información en su revista y boletines y se fomenta la participación del personal profesional en actividades de formación para adquirir y transferir conocimiento.
3. **Desarrollo tecnológico.** Se cuenta con laboratorios robustos de primer nivel, capaces de aplicar análisis desde la escala nanotecnológica hasta la natural.
4. **Marco legal e institucional.** Se rige por normativa orientada a velar por la calidad y la eficiencia en la inversión pública destinada al desarrollo y conservación de la red vial del país.

Como parte de su catálogo de productos se encuentran los resultados de ensayos por área: construcción, mampostería, transporte y pavimentos, así como metrología (sistema de calibración). En cuanto al pilar de transferencia de conocimiento, se dispone de un repositorio en DSpace para almacenar el acervo bibliográfico. También se organizan jornadas de investigación para divulgar los avances en materia de infraestructura vial de Costa Rica. Además, se cuenta con dos revistas para publicaciones y con un programa de capacitaciones que ofrece cursos libres en distintas áreas: inspección y laboratorios viales, construcción, transporte, ensayos de laboratorio, certificaciones internacionales y capacitaciones a la medida (Lanamme, s. f.).

Este laboratorio dispone de múltiples facilidades. Cuenta con aplicaciones para el análisis y diseño de pavimentos destinadas a profesionales en ingeniería. Ofrece siete visores de datos georreferenciados sobre los productos que genera, entre ellos pizarras de datos de puentes y carreteras de la red vial nacional y cantonal, resultados de auditorías, información geotécnica de rutas nacionales y datos de estaciones meteorológicas. Además, posee tres laboratorios con personal técnico altamente especializado en materiales de construcción, transporte y pavimentos, así como fuerza. Su propósito es brindar soporte a la investigación en materiales, sistemas constructivos y metrología en todo el país (LanammeUCR, 2025).

Repositorios universitarios o de centros de investigación

Los repositorios son espacios en la web que disponen de recursos digitales para el acceso a información, tales como publicaciones científicas, artículos, tesis, documentos y libros. Constituyen recursos de generación de conocimiento debido a la disponibilidad del acervo bibliográfico. En el país son herramientas ampliamente utilizadas en el ámbito universitario. Para estos efectos resulta pertinente mencionar los siguientes:

- UCR: Kérwá y CEDI (Escuela de Ingeniería de la UCR).
- UNA: Repositorio Académico Institucional (RAI).
- ITCR: Repositorio TEC.

Otras entidades:

- IICA: Repositorio de Conocimiento Institucional.
- CATIE: Repositorio de Conocimiento Institucional.
- Consejo Nacional de Rectores (CONARE): Kimuk.

Finalmente, en el ámbito nacional se deben incluir las instituciones de gobierno involucradas en la gestión del riesgo y la acción climática, en virtud de las funciones establecidas en su normativa. Destacan la Comisión Nacional de Emergencias, el Instituto Meteorológico Nacional y el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), entidades que desempeñan un rol fundamental en la lucha contra el cambio climático.

En el caso del MINAE, se cuenta con sistemas para el reporte de métricas ambientales y de cambio climático. Entre ellos se encuentra el Sistema Nacional de Información Ambiental de Costa Rica (SINIA), que integra información estadística, informes y mapas informativos. Asimismo, el Sistema Nacional de Métrica del Cambio Climático (SINAMECC) permite a los sectores de planificación del gobierno registrar y reportar información relevante, dando seguimiento a la Política Nacional de Cambio Climático.

Ámbito internacional de competitividad

Centroamérica

- **Sistema de Integración Centroamericana (SICA)**

Es un sistema de gobernanza política a nivel de Centroamérica que facilita procesos de integración regional. Sus productos técnicos promueven el avance conjunto de la región mediante la generación de proyectos regionales de impacto, orientados a sus ejes de trabajo: integración social y económica, seguridad democrática, fortalecimiento institucional y, de manera destacada, cambio climático y gestión integral del riesgo. Entre 2022 y 2023 se desarrolló la iniciativa de integración en Centroamérica denominada Proyecto RIDASICC, en la cual participó la CEPAL.

El impacto del proyecto se dirigió a las inversiones públicas mediante la incorporación del componente de gestión del riesgo y cambio climático. Los países miembros del Consejo de Ministros de Hacienda o Finanzas de Centroamérica, Panamá y la República Dominicana (COSEFIN) del SICA participaron en el proyecto *Fortalecimiento de capacidades para la incorporación de la reducción del riesgo de desastres (RRD) y la adaptación sostenible e incluyente al cambio climático (ASICC) en la inversión pública en Centroamérica (RIDASICC)*. Su objetivo fue contribuir a la reducción de pérdidas y daños ocasionados por desastres y a la respuesta ante la emergencia climática, considerando intervenciones durante el ciclo de vida de los proyectos de inversión pública de los países miembros del COSEFIN.

La CEPAL (2022), como socio colaborador del proyecto, informó que este “combina acciones a nivel nacional enfocadas en fortalecer capacidades de los SNIP (Sistema Nacional de Inversiones Públicas) de los países miembros, incluyendo ministerios de los sectores priorizados e instituciones especializadas, con acciones a nivel regional en fortalecer las capacidades de instancias del SICA, incluyendo a COSEFIN, el Consejo Sectorial de Ministros de Transporte de Centroamérica de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (COMITRAN/SIECA) y el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres en América Central y República Dominicana (CEPREDENAC)”. Entre los instrumentos generados se encuentran guías metodológicas, cajas de herramientas y un módulo para sistemas de información geográfica.

En el marco de RIDASICC se analizó cómo inciden los sistemas de información en cambio climático en la toma de decisiones de los países. Róger Vega, consultor del Proyecto RIDASICC, destacó la importancia de “ampliar la mirada espacial y temporal para el análisis de riesgos, incluidos los climáticos, y del uso de información climática y de variables socionaturales disponibles en sistemas de información geográfica y aplicativos informáticos que guíen y apoyen a los formuladores y evaluadores de proyectos para determinar y evaluar medidas que reducen riesgos, permiten adaptación y generan múltiples beneficios” (CEPAL, 2023).

- **Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres en América Central y República Dominicana, (CEPREDENAC)**

Es un organismo regional en Centroamérica perteneciente al SICA. Está encargado de promover y coordinar la cooperación internacional, la transferencia de información y de experiencias, así como de brindar asesoría técnica y científica en prevención, mitigación, atención y respuesta de desastres. Dispone de la capacidad para gestionar, a nivel regional, información relacionada con sus áreas de asesoría en desastres de manera dinámica, interactiva y accesible.

Colombia

Según lo señalado en el apartado de Tendencias, Colombia es uno de los países de América que cuenta con una Política Nacional de Ciencias Abiertas. Dispone de numerosos sitios web institucionales y centros de investigación con datos e información accesibles al público. Entre ellos se destacan los siguientes:

- **Red Colombiana de Información Científica:**

Conformada en 2019 por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias), organismo rector de investigación, como “el nodo nacional responsable de consolidar y visibilizar la información científica del país, así como el nodo Colombia para participar en proyectos de intercambio de información, productos, datos científicos y proyectos de Ciencia Abierta de carácter internacional” (La Red, s. f.). Su propósito es ofrecer un modelo articulador de gestión entre actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, que sirva de base “para fortalecer el desarrollo científico tecnológico, la apropiación social del conocimiento y la articulación con redes internacionales para la gestión de la información científica” (La Red, s. f.).

- **INVIAS-Co**

Es el Instituto Nacional de Vías, adscrito al Ministerio de Transporte. Está encargado de ejecutar políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de infraestructura no concesionada para la Red Vial Nacional, incluyendo la red ferroviaria, fluvial y la infraestructura marítima. Es además un centro de investigación que cuenta con una oficina de Tecnologías de Información y Comunicación. Dispone de sistemas de información sobre infraestructura de transporte con componentes geoespacial, tecnológico y de información. Genera estudios en transporte, por ejemplo, proyecciones de demanda de carga y pasajeros y modelación del desempeño de la red de transporte.

- **CAPRA – Plataforma para riesgos y desastres**

Es una plataforma de evaluación probabilística del riesgo desarrollada con software abierto. Aplica técnicas probabilísticas al análisis de amenazas y pérdidas causadas por desastres naturales. Combina información sobre amenazas, exposición y vulnerabilidad física, y ofrece herramientas para que los usuarios realicen sus propios análisis y determinen el riesgo conjunto o en cadena. Su finalidad es desarrollar capacidades para comprender, evaluar y comunicar el riesgo de desastres. Está a cargo de la Universidad de los Andes y cuenta

con módulos sobre cambio climático, exposición y vulnerabilidad, evaluación del riesgo y recursos disponibles, como una biblioteca digital.

- **Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA).**

Es una plataforma de datos abiertos geospaciales del Área Metropolitana de Medellín. Desde 2010 constituye una estrategia regional de carácter científico, tecnológico e innovador orientada al empoderamiento ciudadano. Es un sistema de alerta temprana “para identificar y pronosticar la ocurrencia de fenómenos naturales y antrópicos que alteren las condiciones ambientales de la región o puedan generar riesgos a la población. Esto a partir del monitoreo en tiempo real y de la modelación hidrológica y meteorológica ajustada a nuestro territorio”. El empoderamiento ciudadano ha sido posible mediante procesos de formación para el uso adecuado de la herramienta y el aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles en la plataforma.

Chile

- **Conecta Logística- Observatorio del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Chile**

Es una organización no gubernamental que desarrolla y promueve iniciativas orientadas a la eficiencia, competitividad y sostenibilidad del sistema logístico. Su trabajo se estructura en tres líneas principales: a) Tecnología y procesos, mediante el uso de herramientas tecnológicas para ofrecer soluciones ágiles y adecuadas; b) Inteligencia de datos, que promueva información objetiva a partir de la gestión de datos con propósito y sentido, así como su disponibilidad para distintos tipos de usuarios; c) Sostenibilidad, impulsando prácticas sustentables con énfasis en el desarrollo del capital humano.

Asimismo, fortalece el sistema logístico nacional mediante innovación y generación de conocimiento para enfrentar los desafíos del transporte de carga. Entre sus recursos destaca el Observatorio Logístico, que difunde información en diversas categorías de datos, como capital humano, comercio exterior, medio ambiente, indicadores logísticos y logística en los ámbitos aéreo, ferroviario, carretero, marítimo y urbano.

México

- **IMCO – Centro de Investigación en Política Pública.**

Es un centro de investigación en política pública orientado a ofrecer soluciones a los desafíos del país. Está conformado por investigadores y especialistas en diversas áreas de interés público. Desarrolla estudios en múltiples temáticas, entre ellas medio ambiente.

- **IMT – Instituto Mexicano del Transporte.**

Se dedica, entre otros aspectos, a la investigación, la innovación tecnológica y al fortalecimiento de la competitividad del transporte. Cuenta con varios centros de innovación, como el Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística, el Centro Experimental Nacional de Innovación Tecnológica para la Seguridad Vehicular, el Centro de Monitoreo de Puentes y Estructuras Inteligentes, el simulador de maniobras de embarcaciones en tiempo real, el simulador de vehículos pesados para ensayos acelerados en pavimentos y el sistema de inteligencia geoespacial.

España

- **Centro de Resiliencia Climática de Cataluña**

El Centro CRC busca impulsar la investigación y la innovación en adaptación para enfrentar la emergencia climática mediante soluciones transformadoras. Su propósito es catalizar la actividad de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) y contribuir al desarrollo sostenible, trabajando en transición ecológica mediante investigación aplicada, tecnología e innovación. Este trabajo se desarrolla junto con agentes tecnológicos y del conocimiento, como empresas, administraciones públicas y otros actores sociales. El Centro pretende consolidarse como referente en I+D+i en resiliencia climática y adaptación al cambio climático en Cataluña y proyectarse internacionalmente (CRC, s. f.).

Se trata de una iniciativa de colaboración público-privada basada en la articulación de una red de instituciones de diversos sectores para reactivar la economía. Busca la protección y restauración de ecosistemas, el fomento de la economía circular y el desarrollo de una agenda digital compartida. Es liderada por Eurecat, en colaboración con el Ayuntamiento de Amposta y la Universitat Rovira i Virgili. En este caso, Eurecat es la segunda organización de investigación privada más grande de Europa del sur y constituye un centro tecnológico de gran relevancia en Cataluña.

- **AdapteCCa**

Es una plataforma web de adaptación al cambio climático del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Contribuye al fortalecimiento de capacidades de la sociedad civil, de acuerdo con los principios del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Brinda acceso a datos, información y conocimiento sobre adaptación al cambio climático y se concibe como un instrumento abierto de intercambio para la comunicación multidireccional.

- **Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)**

Es un organismo público del Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible. Contribuye al bienestar social y al crecimiento económico mediante el mejoramiento de infraestructuras, la protección del patrimonio de la obra pública y la promoción de una movilidad segura y sostenible. Dispone de centros de investigación y laboratorios dedicados a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico en ingeniería civil y medioambiente. También ejecuta actividades de transferencia del conocimiento.

- **Centro Tecnológico de Construcción de la Región de Murcia (CTCON)**

Es una asociación empresarial de investigación cuyo objetivo es impulsar actividades en el sector construcción mediante tecnología, calidad y competitividad. Promueve en la Región de Murcia el aprendizaje, la especialización y la transferencia de conocimiento para sus miembros. Se enfoca, entre otros elementos, en el desarrollo de proyectos de I+D+i y en la vigilancia tecnológica, orientados a construcción sostenible y cambio climático, infraestructuras terrestres, energía y construcción digital (BIM, IoT, análisis de datos, edificación saludable y digitalización de construcciones).

- **PierNext – Puerto de Barcelona**

Es un proyecto que impulsa la innovación hacia un futuro sostenible. Explora tendencias y retos en movilidad, logística, medio ambiente, economía, personas, gobernanza y tecnología. Para PierNext (s. f.), constituye “un espacio de conocimiento, análisis y reflexión abierto a la colaboración de todas aquellas organizaciones y personas interesadas en aportar ideas, experiencias disruptivas y referentes de vanguardia en cada uno de

estos campos”. Asimismo, se presenta como “un *hub* digital de conocimiento impulsado por el Port de Barcelona para divulgar la innovación que está transformando la logística y el comercio internacional, con especial énfasis en el ámbito portuario y marítimo”.

- **Observatorio de Transporte y Logística (OTLE)**

Es una iniciativa del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Funciona como instancia de referencia en temas de transporte y logística. Está alojado en la Secretaría General de Transportes y Movilidad, en la División de Estudios y Tecnología del Transporte, y cuenta con la colaboración de la Subdirección General de Tecnologías de la Información y Administración Digital. Dispone de información, datos y estadísticas en las áreas de movilidad, infraestructura y capital, sostenibilidad, logística, socioeconomía, seguridad y transporte metropolitano.

Unión Europea

- **Climate-ADAPT**

Es una plataforma europea de adaptación al clima de la Comisión Europea y la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). Su función es contribuir a la adaptación al cambio climático mediante la difusión de datos e información sobre el clima previsto en Europa, la vulnerabilidad actual y futura de sus regiones y sectores, las estrategias y acciones de adaptación de la Unión Europea y de los ámbitos nacionales y transnacionales, así como estudios de caso y opciones de adaptación. También ofrece herramientas que apoyan la planificación de la adaptación. La plataforma organiza y centraliza esta información (AEMA, s. f.).

- **CORDIS**

Es el Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo de la Unión Europea. Su objetivo es fomentar la ciencia abierta mediante la divulgación de resultados de investigación para estimular la creación de productos y servicios innovadores y contribuir al crecimiento en toda Europa (Comisión Europea, s. f.).

- **Zenodo**

Es un repositorio de investigación abierta administrado por la Comisión Europea.

- **Organismos de las Naciones Unidas**

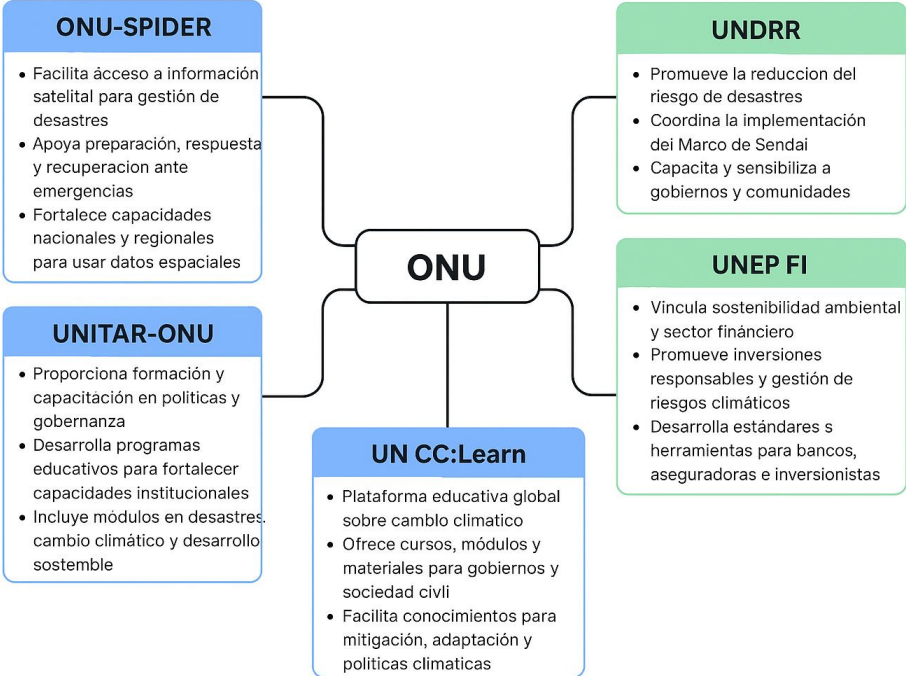
La investigación consultó y exploró los sitios web de diversos organismos de las Naciones Unidas. Sus principales funciones se presentan en la figura 32. Estos actores resultan relevantes por su enfoque en ciencia abierta, la divulgación de información y su aporte como recurso de conocimiento en gestión del riesgo y cambio climático.

- **Banco Interamericano de Desarrollo (BID)**

Es una entidad que brinda apoyo financiero y técnico a gobiernos nacionales, subnacionales y a otras instituciones de la región. De acuerdo con el BID (s. f.), se llevan a cabo “investigaciones de vanguardia y desarrollamos soluciones innovadoras para enfrentar los desafíos del desarrollo, tanto a nivel local como global”. Dispone de recursos de conocimiento de gran valor, como publicaciones alojadas en su repositorio, datos abiertos a través de su portal y catálogo de indicadores, y una oferta de cursos en diversas temáticas

como desarrollo sostenible, ciudades sostenibles, economía y desarrollo, gestión del riesgo ambiental y social e infraestructura, entre otros.

Figura 32. Organismos de las Naciones Unidas



Fuente: Open AI (2025).

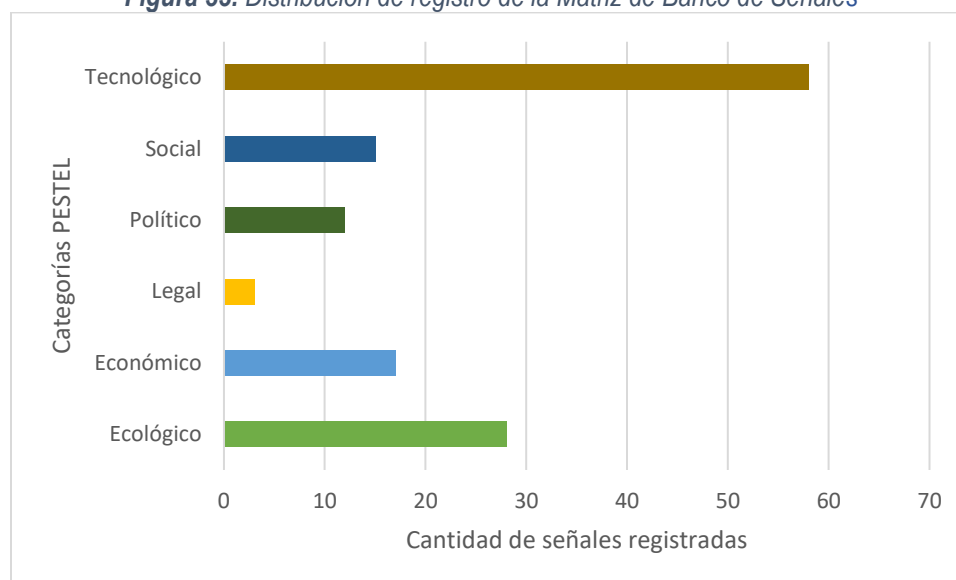
3.2 Análisis de campo

Factores de cambio y variables estratégicas

Los factores de cambio tienen la capacidad de influir en las relaciones dentro de un sistema y generar transformación. Esta disrupción modifica la dinámica y plantea una nueva dirección. Sin embargo, existe incertidumbre respecto a la evolución futura de dicha influencia, a diferencia de las tendencias, que se constituyen en fuerzas motoras de cambio y presentan mayor certidumbre sobre su comportamiento en el sistema y en el futuro.

Para la recolección de los factores se utilizó la Matriz de Banco de Señales. Se revisaron documentos, información científica, noticias y sitios web de actores estratégicos alineados con el eje de esta investigación (tabla 34, pág. 129). También se incorporaron los resultados de las entrevistas con personas expertas, las cuales representaron el 54 % de los registros en la matriz del Banco de Señales. Cada registro fue clasificado según las categorías PESTEL (político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal), para un total de 133 registros (figura 33).

Figura 33. Distribución de registro de la Matriz de Banco de Señales



Fuente: Elaboración propia con insumos de la Matriz Banco de Señales (2025).

El listado de factores de cambio valorados en el Taller corresponde a los planteados en la Tabla 35. Con la aplicación del instrumento de priorización por parte de las personas participantes surgió una modificación en el factor 10, debido a varias ideas expuestas durante la actividad. En los instrumentos compartidos inicialmente se utilizó el nombre “Soluciones tecnológicas en planificación del territorio”. No obstante, el concepto y el término se redefinieron y se simplificaron a “Soluciones tecnológicas”, al considerarse que debía adoptarse una denominación más general. La modificación quedó registrada según lo indicado en el anexo correspondiente. En la tabla también se incluyen los actores que las personas participantes consideraron clave para cada factor, información tomada del instrumento aplicado durante la recolección de priorización.

Conviene señalar que la elección de los factores de cambio se realizó considerando el análisis planteado en el Estado del Arte sobre el contexto de la organización en la gestión del conocimiento, análisis sintetizado en el

FODA y en el cuadro de interacción de actores del Sector. También se tomó en cuenta la visión de futuro expresada por las personas expertas entrevistadas. A partir de ello se determinó llevar una lista reducida de factores que permitiera priorizar con mayor precisión lo requerido, dada la limitación de tiempo y la realización de un único taller. Resulta relevante aclarar este aspecto, ya que algunas de las tecnologías identificadas en la Vigilancia Tecnológica no se incorporaron en el listado de factores. Sin embargo, se retomaron en la sintaxis lógica en el nivel externo, ubicándolas dentro de las tendencias tecnológicas que influirán en el futuro del Sector como parte del entorno, junto con las megatendencias. Estas constituyen fuerzas dinámicas que continuarán impulsando transformaciones a nivel global y, en consecuencia, forman parte del ámbito por explorar al que la organización debe prepararse.

Tabla 35. Factores de Campo y los actores anotados por los participantes

Factores de Cambio	Actores
1. Formación integral de capacidades para la resiliencia	Direcciones de capacitación; Academia, centros de investigación Universidades, CNE, ICE, Academia, Red sismológica, instituciones públicas
2. Infraestructura resiliente	Instituciones de cooperación, ONG, CNE, ICE, Academia, Red sismológica, instituciones públicas
3. Gestión de datos	Instituciones públicas, Unidades de recolección y procesamiento de información, Direcciones de Informática. ICE, UCR, TEC, UNA, IMN IGN, instituciones públicas CNE, MICIT, Mideplan PRODAT
4. Inteligencia Artificial en la gestión de datos	Direcciones de informática (recurso tecnológico), Jerarcas institucionales (coordinación interinstitucional). Capacitadores y proveedores de servicios de IA, Secretaria de Planificación, PROMIDAT
5. Accesibilidad a los datos e información	Instituciones públicas y academia, Jerarcas (hacer convenio), IMN, IGN, CNE, MICIT, Mideplan PRODAT
6. Interoperabilidad de los datos	Instituciones públicas, academia, fabricantes de software, CNE, MICIT, Mideplan, MOPT, entes privados, MICIT *Establecer las reglas para todas las instituciones
7. Sinergia interinstitucional	Jerarcas; Unidades Técnicas; productores de información, academia, MOPT, Secretarías sectoriales. IMN
8. Vigilancia en información de fenómenos naturales	Instituciones públicas y academia. Instituciones dueñas de equipos de toma de datos, Universidades, IMN, NOAA
9. Gestión del Riesgo (GR)	Instituciones públicas y academia, Mideplan, CNE, unidades a cargo de formulación de proyectos.

10. Soluciones tecnológicas	Jerarcas, Direcciones de Informática; planificadores, academia, fabricantes de software, Universidades
11. Continuidad del servicio	Instituciones públicas y academia, administradores de la información., Informática TI, MICIT
12. Adaptación	Instituciones públicas y academia, MOPT, unidades a cargo de formulación de proyectos, Secretaria Planificación Sectorial
13. Inversión de desarrollo	Instituciones públicas y academia. Entes financieros internacionales. La banca pública, alianzas APP, Ministerio Hacienda
14. Planificación multisectorial	Instituciones públicas y academia, Mideplan, CNE Secretaria Sectoriales MINAE, MICIT

Fuente: Elaboración propia y participantes del taller (2025).

Respecto del instrumento aplicado para la priorización de factores de cambio, las personas participantes expresaron su criterio a partir de la pregunta: ¿cuáles son los factores de cambio que incidirán en el futuro de la gestión del conocimiento en resiliencia climática para el Sector de Obras Públicas y Transportes? Una vez completado el instrumento, la moderadora incorporó la información en la herramienta del Ábaco de Regnier, cuyo resultado se presenta a continuación:

Tabla 36. Resultado de la priorización de factores en el Ábaco de Regnier

05 Accesibilidad a los datos e información	■	■	■	■	■	■	■	■	■
01 Formación integral de capacidades para la resiliencia	■	■	■	■	■	■	■	■	■
03 Gestión de datos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
13 Inversión de desarrollo	■	■	■	■	■	■	■	■	■
14 Planificación multisectorial	■	■	■	■	■	■	■	■	■
06 Interoperabilidad de los datos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
08 Vigilancia en información de fenómenos naturales (meteorológicos, tectónicos y marítimos)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
02 Infraestructura resiliente	■	■	■	■	■	■	■	■	■
07 Sinergia interinstitucional	■	■	■	■	■	■	■	■	■
11 Continuidad del servicio	■	■	■	■	■	■	■	■	■
09 Gestión del Riesgo (GR)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
04 Inteligencia Artificial en la gestión de datos	■	■	■	■	■	■	■	■	■
12 Adaptación	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10 Soluciones tecnológicas	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Taller de factores (2025).

Con la aplicación del Ábaco de Regnier para la priorización se evidencia la coincidencia entre las personas participantes en que todos los factores presentan un nivel de incidencia de moderado a muy alto para el futuro de la gestión del conocimiento del Sector. Considerando el orden de los resultados, se eligieron las primeras cinco variables. No obstante, se excluyeron dos de ellas —inversión de desarrollo y planificación multisectorial— por tratarse de variables estratégicas que requieren la participación de actores externos a la organización. Se trata de factores que no se encuentran bajo su control directo y que representan retos tanto para el Sector como para el resto de las instituciones del país. Por esta razón, se incorporaron dos variables adicionales para completar la identificación de las cinco variables estratégicas:

1. Accesibilidad a los datos e información
2. Formación integral de capacidades para la resiliencia
3. Gestión de Datos
4. Interoperabilidad de los datos
5. Vigilancia en información de fenómenos naturales

Sintaxis lógica

La Sintaxis Lógica es un esquema que facilita la visualización de los fenómenos que interactuarán en el futuro de la gestión del conocimiento del Sector, por cuanto forman parte del entorno (figura 34). El esquema se compone de varios niveles:

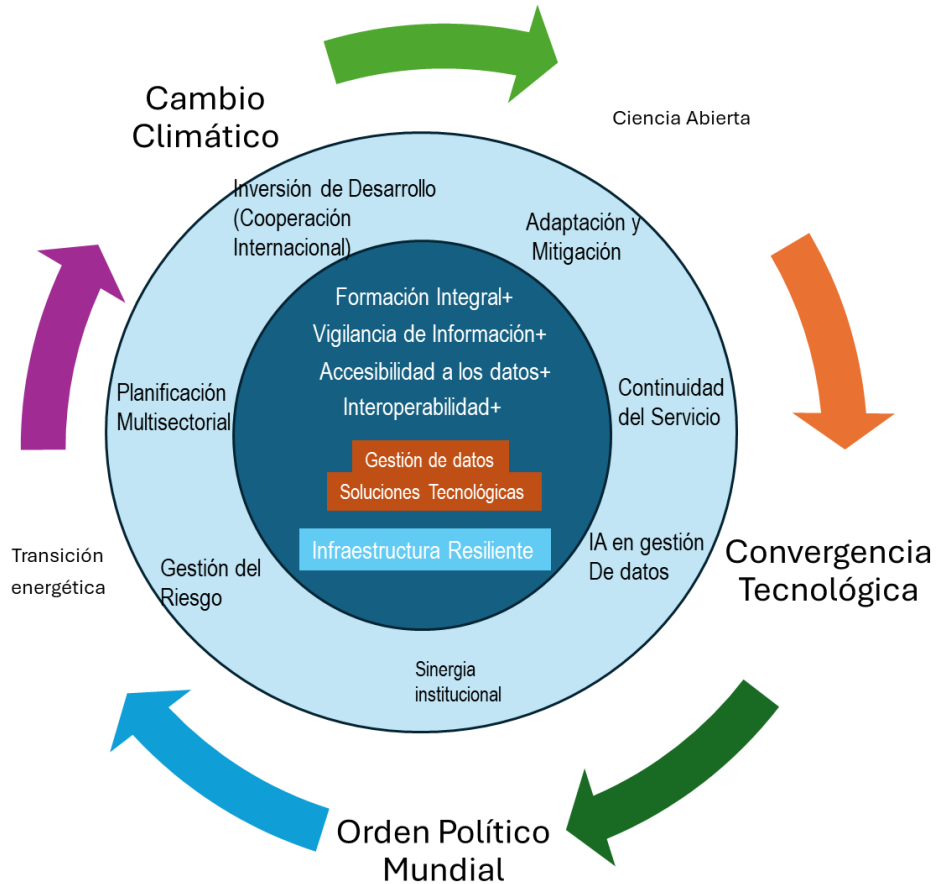
- **Nivel externo:** Aquí se ubican las megatendencias y las tendencias. Corresponde al contexto mundial que influye con gran impacto en los ámbitos político, económico, social, tecnológico, ambiental y regulatorio. Aquí se localizan las megatendencias del cambio climático (y la variabilidad climática), la masificación del conocimiento y la convergencia tecnológica. También se incluyen las tendencias y señales débiles en transición energética, ciencia abierta y tecnologías identificadas en el Estado del Arte (IA, IoT, ML, DL, *Big Data*, energías limpias, movilidad eléctrica y sistemas inteligentes de transporte), así como el orden político mundial, considerado parte de las fuerzas motoras que impulsan las transformaciones globales.
- **Nivel intermedio:** En este lugar se sitúan los retos que el Sector debe contemplar a nivel estratégico, ya que forman parte de su dinámica y guardan relación con la creación de puentes institucionales con diversos actores. Constituyen movimientos clave para el avance de proyectos hacia el futuro. Aquí se incluyen la inversión de desarrollo (cooperación internacional), la planificación multisectorial y las sinergias institucionales, así como la gestión en adaptación y mitigación climática y la gestión del riesgo y desastres.
- **Nivel interno:** está conformado por los factores de cambio elegidos como variables estratégicas y sobre los cuales la organización debe trabajar para construir una gestión del conocimiento que facilite su vinculación con los posibles futuros. Estas variables se estructuran en una dinámica de causalidad expresada en términos de medios y fines.

Respecto de los medios ubicados en el nivel interno, estos fueron valorados por las personas participantes en el taller. Se desarrolló un debate profundo sobre la importancia de los datos y sobre la manera en que su flujo permite agrupar las demás variables. En primer lugar, se requiere una formación integral orientada al fortalecimiento de las capacidades del Sector. También, es necesario construir un lenguaje común entre los procesos operativos encargados de la generación de datos, información y conocimiento. Se debe establecer una estructura de flujo que parta de los datos, identificar los recursos disponibles y visualizar la meta según la pirámide de inteligencia del conocimiento. Este aspecto resulta fundamental en el proceso de concientización en todo el Sector.

En relación con los demás elementos del nivel de medios, la vigilancia de información sobre fenómenos naturales se reconoce como una fuente esencial de datos provenientes de diversos centros de información del país y del mundo. Para poder utilizar dicha información, es indispensable establecer interoperabilidad de datos, considerando los recursos existentes para su consumo. Como tercer elemento en los medios se identificó la accesibilidad a los datos y la información.

Finalmente, en esta dinámica de causalidad se determinó que el uso de soluciones tecnológicas permitirá impulsar la gestión de los datos y que el Sector avance hacia la meta de contar con infraestructura resiliente, considerando la gestión del conocimiento del futuro.

Figura 34. Sintaxis Lógica



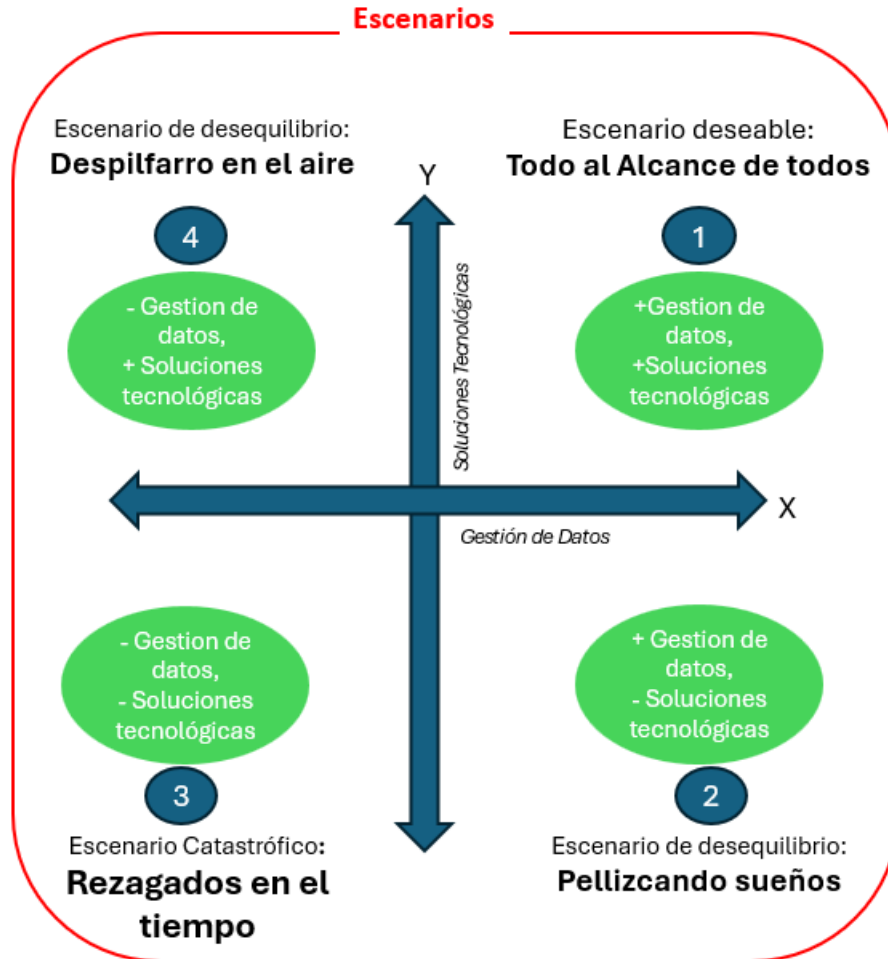
Fuente: elaboración propia (2025).

Construcción de escenarios

El futuro, según lo indicado por Godet, constituye un abanico de futuros posibles. No existe un único porvenir, sino diversas alternativas que muestran lo que podría ocurrir. Estas alternativas se denominan escenarios y, según las implicaciones analizadas para cada uno, se elige el más conveniente para la organización con el fin de influir en su desarrollo. La acción de elegir un escenario proviene de la voluntad y responde a la corriente voluntarista de la prospectiva. La elección del futuro adoptado se convierte en realidad únicamente si el colectivo de actores decide actuar para materializarlo e influir en esa imagen futura (Mojica, 2010).

Para la construcción de escenarios se aplicó la cruz de Peter Schwartz, la cual plantea cuatro escenarios posibles: uno deseable, uno catastrófico y dos de desequilibrio (figura 35). Se utilizaron las dos variables que las personas participantes del taller establecieron como fines en la sintaxis lógica. Estas variables se convierten en los conductores de los Ejes que definen los escenarios, considerando la variable dependiente en el eje X —gestión de datos— y la variable independiente en el eje Y —soluciones tecnológicas—.

Figura 35. Aplicación de los Ejes de Peter Shwartz en los escenarios de futuro



Fuente: elaboración propia (2025).

Escenarios

Escenario 1. Todo al alcance de todos

Corre el año 2035 y los países del mundo continúan ejecutando acciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático. La temperatura supero el umbral de 1,5 °C y las políticas gubernamentales siguen aplicándose en esta lucha, para el cumplimiento de nuevas metas.

En Costa Rica, la afectación territorial ante la frecuencia de eventos hidrometeorológicos ha aumentado. Las comunidades urbanas y rurales enfrentan distintas situaciones de riesgo, ya sea por inundaciones causadas por el desbordamiento de ríos o por derrumbes en carreteras y otros sitios críticos. La erosión costera continúa avanzando en varios puntos del litoral y las sequías persisten en el Corredor Seco Centroamericano.

El país ha consolidado una visión conjunta, uniendo esfuerzos a partir de una perspectiva compartida: “Todo al alcance de todos”. Los daños registrados difieren respecto de los observados un decenio atrás y han requerido menor inversión económica. Esta situación responde a la construcción de una cultura de resiliencia climática como parte de la gestión del riesgo y de los desastres. El proceso se ha fortalecido mediante la innovación en la administración pública, el aprovechamiento del capital de conocimiento instalado en las instituciones y la formación de capacidades para construir un país resiliente en colaboración con la academia, las instituciones gubernamentales y el sector privado. La meta ha sido mantener la competitividad nacional y conservar posiciones favorables en distintos índices, como el Global de Competitividad, el de Gestión de Riesgo Global y el de Resiliencia Climática Regenerativa, orientando los esfuerzos hacia una política de gestión del conocimiento en resiliencia climática mediante la innovación.

El Centro de Alta Tecnología e Innovación del país y los laboratorios de innovación regenerativa han colaborado en la triada institucional de los Guardianes del Riesgo Futuro. Han impulsado diversas redes sectoriales para crear resiliencia climática adaptativa y regenerativa y fortalecer la mitigación mediante la transformación energética. Las tres instituciones coordinadoras atienden los ámbitos ambientales, meteorológicos y de atención de emergencias. En este proceso ha contribuido la creación y modificación de normativa para fortalecer la gestión del conocimiento en prevención del riesgo mediante la instauración de un fondo destinado a capitalizar el conocimiento. Paralelamente, el sector privado, en coordinación con el Centro de Sostenibilidad Climática, ha desarrollado sus propias líneas de apoyo para la resiliencia climática y la obra adaptativa, guiado por la visión nacional de innovación y desarrollo.

El Fondo Nacional de Capitalización del Conocimiento ofrece dos opciones a las instituciones del sector público y privado para la retribución de fondos. Una corresponde a un porcentaje económico. La otra se basa en la moneda de cambio Júña —palabra cabécar que significa “sabiduría”—, la cual consiste en “pagar” mediante conocimiento. Este mecanismo otorga valor monetario al conocimiento compartido e incentiva a las instituciones a contribuir. También, promueve la ciencia abierta mediante la disponibilidad de datos institucionales, publicaciones científicas y conjuntos de datos e información que cumplan con los estándares de calidad. El Gobierno ha impulsado la Plataforma Transformativa Júña Digital como banco de datos e información compartida, con interoperabilidad y facilidades de interacción. Esto ha favorecido la concientización sobre la creación y publicación de datos para fortalecer la ciencia abierta en el país.

Las redes sectoriales están conformadas por cinco grupos. La primera es la **Red de Monitoreo**, la cual emplea tecnología de internet de las cosas para zonas críticas y da seguimiento a áreas vulnerables. La segunda es la **Red de Investigación**, integrada por universidades y sus centros de investigación, que lideran las publicaciones científicas. Como acuerdo país, desarrollan publicaciones de casos de aplicación en instituciones y utilizan la vigilancia tecnológica con enfoques sectoriales, facilitando material actualizado para las instituciones y el sector privado.

La tercera es la **Red Científica**, concebida como una simbiosis de colaboración entre las dos redes anteriores y la ventana internacional. Está conformada por las instituciones encargadas de la vigilancia de fenómenos naturales y, desde hace varios años, incorpora proyecciones de escenarios climáticos en la planificación del territorio. La cuarta red es la de **Sostenibilidad Constructiva**, integrada por el sector privado y los laboratorios especializados en ingeniería, arquitectura y nanotecnología. Conscientes de la ciencia abierta para lograr la adaptación y la mitigación, lideran una propuesta tecnológica orientada a promover materiales sostenibles mediante nanotecnología y conocimiento científico, y exploran diseños arquitectónicos que conciben la adaptación como un organismo vivo dentro de un ecosistema en regeneración.

La quinta red es la de **Movilidad Inteligente**, conformada por las instituciones responsables del sector transporte —públicas y privadas— que generan los datos derivados de la transición transformativa. Esto incluye desde entidades que manejan métricas sobre transitabilidad de vehículos eléctricos y consumidores de combustibles alternativos, hasta quienes movilizan personas en los diferentes modos de transporte, públicos y privados, junto con quienes contabilizan la movilidad ciclista libre de emisiones.

Este contexto de las cinco R está influenciado por las tendencias globales en ciencia abierta, las cuales han permeado en los productos de inversión del desarrollo —cooperación internacional—. Estos productos se han diversificado hacia el enfoque de “tecnologías centralizadas pero compartidas”, brindando opciones a los países receptores para incentivar la creación de redes de apoyo técnico orientadas al aprovechamiento de los recursos. Para ello se promueve que la inscripción de proyectos requiera, como mínimo, la participación de tres instituciones beneficiarias.

La Red de Monitoreo está conformada por instituciones que han unido esfuerzos bajo la guía preventiva de la entidad responsable de la gestión del riesgo. Han instalado sensores que monitorean el territorio en puntos estratégicos, tanto costeros como continentales, lo que ha permitido dar continuidad al servicio público de transitabilidad y proteger vidas humanas. Este monitoreo se encuentra centralizado en un centro de tratamiento de datos que permite trabajar con un *Big Data*. A partir de ello, los entes públicos y privados pueden acceder a la información para construir sus propios algoritmos mediante tecnología en inteligencia artificial y generar la información necesaria según sus requerimientos. En este uso de la plataforma, los algoritmos utilizados forman parte del pago Júña, lo que permite su utilización por parte de otros usuarios.

Los sensores responden a la ubicación de sitios que históricamente han registrado eventos como derrumbes o inundaciones. Se han instalado en las coronas de deslizamientos para realizar monitoreo con tecnologías de reporte de datos en tiempo real. El registro histórico utilizado proviene del Banco de Datos de Gestión de Riesgo, con información georreferenciada para la red vial nacional y cantonal bajo la responsabilidad del sector encargado del mantenimiento y atención primaria de la infraestructura pública en servicios de transporte.

La **Red Científica**, en la que participan los centros de investigación científica, ha impulsado políticas públicas en ciencia abierta orientadas a la gestión de datos con responsabilidad, calidad y precisión. Ha generado capacidades y fomentado formaciones especializadas para el uso de tecnologías en IA y ciencias de la Tierra, con el fin de apoyar a las instituciones públicas conectadas a la Plataforma Digital Júña. Anualmente organiza congresos para presentar casos de uso de la realidad aumentada, avances en la construcción de gemelos digitales y la promoción de tecnologías propias de un entorno altamente tecnologizado.

Las universidades públicas mantienen su vocación social y han liderado, junto con los centros de capacitación del país, cursos dirigidos al empoderamiento ciudadano. Existen módulos para profesionales, técnicos, operadores y ciudadanía en general. Según el perfil de cada usuario se determinan las opciones de cursos disponibles. El acceso a cursos más complejos depende del nivel científico del usuario, particularmente aquellos relacionados con el análisis de eventos hidrometeorológicos. Este proyecto cuenta con el apoyo técnico del Centro Nacional de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa.

La Red de Sostenibilidad Constructiva, en conjunto con el Centro Nacional de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa, ha establecido convenios con instituciones y municipalidades para brindar soporte en resiliencia climática a las obras de infraestructura continental y costera. Como avance, se ha implementado el uso de pavimentos alternativos para reducir los tiempos de inundación en zonas urbanas, según las recomendaciones del Laboratorio de Pavimentos Sostenibles del país.

La Institución Nacional de Ambiente y Urbanismo ha implementado el Sistema de Monitoreo de Zonificación de Usos del Suelo para todo el país. Este sistema es utilizado por los servicios de transporte que monitorean posibles afectaciones en sus operaciones de transitabilidad. Las municipalidades, mediante la inversión en desarrollo proveniente de fondos de cooperación internacional, han digitalizado la información geográfica de sus datos, lo que fortalece los mapas de uso del suelo de sus planes reguladores. El sistema permite a las instancias y desarrolladores de obra pública monitorear de forma preventiva si los cambios de uso de la tierra pueden provocar mayor impermeabilización del suelo y, en consecuencia, sobresaturación, escorrentía e inundación en pistas de aterrizaje, sistemas ferroviarios o la red vial.

El sector de infraestructura pública de servicios de transporte ha formulado soluciones tecnológicas para la producción y consumo de datos institucionales como parte de la innovación incorporada para impulsar los datos sectoriales. La solución tecnológica está organizada a partir de una serie de nodos inteligentes de datos interconectados entre sí, con interoperabilidad para analizar las variables disponibles. Uno de estos nodos es el **Laboratorio de Resiliencia Climática**, encargado de recolectar los indicadores relacionados con la acción climática del sector. Además, brinda apoyo técnico científico a las entidades vinculadas con este tema, cuenta con un acervo bibliográfico para la gestión de infraestructura resiliente y participa en todas las redes sectoriales. Este Laboratorio ha incursionado en la realidad aumentada mediante el uso de gemelos digitales para probar materiales, estructuras y diseños capaces de tolerar eventos extremos hidrometeorológicos. También, participa activamente en los Laboratorios Internacionales para la Simulación de Riesgo en RA.

El segundo nodo es el de **Infraestructura Resiliente**, encargado de coordinar el registro histórico de situaciones de riesgo reportadas en las vías públicas nacionales. Este nodo se alimenta de información proveniente de sensores instalados en carretera y de datos satelitales recolectados por la Red Científica. Desarrolla un trabajo colaborativo con la ciudadanía, que interactúa con la herramienta de reportes. Asimismo, se alimenta del Observatorio de Transporte, el cual administra la inteligencia de los servicios de transporte en la gestión y modelaje de los datos.

El sector ha impulsado convenios para brindar soporte de resiliencia climática a las obras de infraestructura continental y costera mediante acuerdos con el Centro Nacional de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa. En conjunto con las municipalidades, en territorios específicos se ha implementado la utilización de pavimentos alternativos para reducir el tiempo de inundación en zonas urbanas, según las recomendaciones del Laboratorio de Pavimentos Sostenibles del país, enlazado con los productos de la Red de Sostenibilidad Constructiva.

En cuanto a las amenazas identificadas en los aeropuertos, la entidad responsable del transporte aéreo tiene acceso al Sistema de Monitoreo de Zonificación de Usos del Suelo del Instituto Nacional de Ambiente y Urbanismo. Esta solución tecnológica, desarrollada en colaboración con las municipalidades, permite acceder a los planes reguladores y monitorear de forma preventiva si los cambios en el uso del suelo pueden provocar mayor impermeabilización y generar inundaciones en pistas de aterrizaje u otras afectaciones en servicios de transporte. El sistema también ha sido utilizado por las direcciones encargadas de la construcción de infraestructura vial o marítimo-portuaria y por los desarrolladores de obra pública como insumo tecnológico para cálculos hidráulicos y otros estudios.

Las instituciones responsables de obras marítimas portuarias forman parte de la red institucional encargada del monitoreo de la dinámica costera para prevenir eventos en tierra. En esta red participan el Centro Nacional de

Alta Tecnología e Innovación Regenerativa, la Red Científica y la entidad encargada de la gestión del riesgo en el país. Estas instituciones se unieron para gestionar fondos de Inversión en Desarrollo y han adquirido equipo de medición para el monitoreo permanente de variables oceanográficas, sumándolo a los instrumentos de la red de vigilancia de fenómenos naturales. Además, han contado con apoyo para adquirir tecnología Lidar para la elaboración de mapas batimétricos, fundamentales para el diseño de obras de infraestructura.

La Red de Movilidad Inteligente, que integra los modos de transporte aéreo, marino y terrestre, mantiene conexión con la inteligencia de servicios de transporte. Esto permite compartir volúmenes de datos para modelar la movilidad activa en todas las regiones del país donde se ha implementado la sectorización del transporte público. La información disponible en la Plataforma Transformativa Júña permite realizar investigaciones sobre modelación de patrones de viaje mediante *Big Data* y análisis con inteligencia artificial. La integración de las rutas de transporte público mediante estaciones marginales optimiza los recorridos y dispone de métricas de seguimiento que mantienen la sostenibilidad del proceso. El modelo financiero sostenible interconectado ha brindado resultados favorables para los usuarios y ha contribuido a la reducción de emisiones de CO₂ en materia de movilidad. Esta red ha desarrollado los gemelos digitales de las estructuras del transporte público, iniciando con los centros urbanos, lo cual permite participar en los Laboratorios Internacionales para la Simulación de Riesgo en RA, donde los gemelos digitales se someten a pruebas de eventos hidrometeorológicos y reciben retroalimentación científica para mejorar su resiliencia.

La convergencia tecnológica continúa generando nuevas tendencias, y el país se encuentra preparado gracias a los centros de vigilancia instalados en las universidades. Estos centros mantienen informados a los actores interesados sobre las tendencias tecnológicas sectoriales y generan nuevas mallas curriculares o actualizan las existentes para diversificar los cursos de capacitación en función de estas tendencias.

La visión país “Todo al alcance de todos” ha sido posible gracias al enfoque comunitario impulsado desde los centros educativos desde hace varios años. Este enfoque ha generado sensibilidad hacia los problemas comunes y ha incentivado la construcción de soluciones colectivas en beneficio de la comunidad. En consecuencia, el país continúa siendo un referente mundial a partir de un cambio cultural: “compartir hace más fuerte y resiliente al cambio climático”.

Escenario 2. Pellizcando sueños

Corre el año 2035 y los países del mundo continúan ejecutando acciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático. La temperatura supero el umbral de 1,5 °C y las políticas gubernamentales siguen aplicándose en esta lucha, para el cumplimiento de nuevas metas.

En Costa Rica persiste la frecuencia e intensidad del impacto de los eventos hidrometeorológicos. Las comunidades urbanas y rurales enfrentan situaciones de riesgo por inundaciones causadas por el desbordamiento de ríos o por derrumbes en carreteras. En distintos sitios críticos sigue avanzando la erosión costera y las sequías continúan afectando el Corredor Seco Centroamericano.

El reporte de daños ha sido menor que en años anteriores debido a los esfuerzos de sensibilización social dirigidos a las comunidades. Se han redoblado iniciativas de capacitación y comunicación para fomentar una cultura de resiliencia climática como parte de la gestión del riesgo y de los desastres. Este proceso ha estado acompañado por innovación en la administración pública, aprovechando el capital de conocimiento instalado en las instituciones y formando capacidades en colaboración con la academia, las instituciones gubernamentales y el sector privado.

En este escenario, las instituciones responsables del mantenimiento y construcción de obra pública para los servicios de transporte en la red vial han ejecutado acciones en conjunto con las municipalidades para alimentar el Banco de Datos de Gestión del Riesgo con información georreferenciada. En este banco se registran los eventos de emergencia en carretera, lo que ha permitido reforzar la gestión preventiva entre las instituciones involucradas.

Las instituciones coordinadoras de los ámbitos ambientales, meteorológicos y de atención de emergencias han impulsado proyectos de inversión en desarrollo para la lucha climática. Han gestionado fondos con cooperación internacional y establecido alianzas interinstitucionales para fortalecer la resiliencia climática adaptativa y regenerativa, además de promover la mitigación y la transformación energética. Se han coordinado políticas públicas orientadas al fortalecimiento de la ciencia abierta y a la accesibilidad de datos. En este esfuerzo ha participado el Centro de Sostenibilidad Climática, con incidencia en la orientación del sector privado en obras de construcción, el cual ha creado sus propias líneas de apoyo para la resiliencia climática y la obra adaptativa.

Las instituciones con mayor injerencia en la estructuración y gestión de datos han brindado apoyo técnico para el registro y administración de los datos institucionales. Tanto el sector privado como la academia y los centros de investigación han confirmado los beneficios de compartir datos e información, lo que ha incrementado el conocimiento en resiliencia climática en el país y ha impulsado publicaciones científicas e informes técnicos. El Gobierno ha promovido la importancia de realizar investigación colaborativa entre la academia y las instituciones públicas como parte de la innovación en la administración pública. Este enfoque ha permitido renovar procesos y aplicar buenas prácticas en medio de esta sinergia. En consecuencia, cada institución ha mejorado el banco de datos e información compartida para fortalecer la acción climática nacional, siguiendo los protocolos de gestión de datos para garantizar la calidad y la interoperabilidad.

Como parte de los beneficios de la planificación multisectorial, se han establecido convenios entre instituciones para definir productos comunes mediante redes sectoriales. La primera es la **Red de Monitoreo**, en la cual algunas instituciones han construido registros y bases de datos de eventos que generan riesgo en vías públicas mediante soluciones tecnológicas de bajo costo. En estos sistemas, diferentes usuarios —sociedad civil y personal en campo— pueden ingresar reportes de forma sencilla para almacenar información geográfica sobre la ocurrencia de eventos, identificar zonas críticas y apoyar el seguimiento de zonas vulnerables.

La segunda es la **Red de Investigación**, integrada por universidades y sus centros de investigación. Esta red apoya la generación de conocimiento a través de publicaciones científicas aplicadas en casos reales en instituciones con enfoques sectoriales, de modo que los productos se convierten en referencia para mejorar procesos e implementar buenas prácticas. La tercera es la **Red Científica**, concebida como una simbiosis de colaboración entre las dos redes anteriores y la ventana internacional. Está integrada por las instituciones responsables de la vigilancia de fenómenos naturales, donde las proyecciones de escenarios climáticos forman parte de la planificación territorial desde hace varios años.

La cuarta red es la de **Sostenibilidad Constructiva**, donde el sector privado, acompañado por laboratorios especializados en ingeniería, arquitectura y nanotecnología, ha liderado una propuesta tecnológica orientada a promover materiales sostenibles mediante nanotecnología y conocimiento científico, y a explorar diseños arquitectónicos que conciben la adaptación como un organismo vivo dentro de un ecosistema en regeneración. La quinta red es la de **Movilidad Inteligente**, conformada por todas las instituciones responsables del sector transporte —públicas y privadas— que generan los datos derivados de la transición transformativa. Esta red integra métricas de vehículos eléctricos, consumidores de combustibles alternativos, usuarios de los modos de transporte público y privado, así como indicadores de movilidad ciclista libre de emisiones.

Este contexto de las cinco R está influenciado por las tendencias globales en ciencia abierta, apoyadas por la inversión en desarrollo mediante cooperación internacional. Estas iniciativas han promovido el enfoque de “tecnologías centralizadas pero compartidas”. Para ello se han brindado opciones a los países receptores con

el fin de incentivar la creación de redes de apoyo técnico orientadas al aprovechamiento de los recursos. Se ha estimulado que la inscripción de proyectos requiera, como mínimo, la participación de tres instituciones beneficiadas. En este proceso se han identificado dificultades de acceso debido a brechas institucionales en el ámbito tecnológico y de datos.

La Red de Monitoreo está a cargo de la coordinación nacional en gestión del riesgo y conformada por instituciones responsables de la atención primaria de emergencias, tanto en ambientes costeros como continentales. Esta red alimenta el Banco de Datos de Gestión del Riesgo, al cual tienen acceso las instituciones del país encargadas de garantizar la transitabilidad en los diferentes modos de transporte. Se han realizado esfuerzos para instalar sensores en puntos críticos y los sensores existentes han demostrado ventajas en la prevención del riesgo en ruta. Aún se continúa gestionando financiamiento para ampliar el monitoreo con tecnología avanzada.

La Red de Sostenibilidad Constructiva, en conjunto con el Centro Nacional de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa, ha establecido convenios con instituciones y municipalidades para brindar soporte de resiliencia climática en obras de infraestructura continental y costera. Como avance, se ha implementado la utilización de pavimentos alternativos para reducir el tiempo de inundación en zonas urbanas, según las recomendaciones del Laboratorio de Pavimentos Sostenibles del país.

La Institución Nacional de Ambiente y Urbanismo ha implementado el Sistema de Monitoreo de Zonificación de Usos del Suelo para disponer de información geográfica sobre los planes reguladores. El sistema cubre, por el momento, las zonas urbanas de algunos centros urbanos y ha constituido un avance para que los sistemas de transporte lo consulten al monitorear posibles afectaciones en sus operaciones de transitabilidad. Las municipalidades continúan utilizando recursos de inversión en desarrollo, provenientes de fondos de cooperación internacional, para avanzar en la digitalización de sus mapas de uso del suelo y cargar los planes reguladores. El sistema permite a las instancias y desarrolladores de obra pública monitorear de forma preventiva si los cambios en el uso del suelo pueden provocar mayor impermeabilización y generar sobresaturación, escorrentía o inundación en pistas de aterrizaje, sistemas ferroviarios o la red vial.

En relación con la acción climática y la necesidad de contar con infraestructura resiliente, el sector encargado de la obra pública en servicios de transporte ha gestionado inversión en desarrollo con apoyo de entidades dedicadas a la innovación en la administración pública. Esto ha permitido constituir el **Laboratorio de Resiliencia Climática**, encargado de organizar los indicadores relacionados con la acción climática del sector. El laboratorio brinda apoyo técnico científico a las entidades vinculadas con esta temática, cuenta con un acervo bibliográfico para la gestión de infraestructura resiliente y participa en todas las redes sectoriales. Además, ha brindado acompañamiento técnico a las unidades del sector encargadas de los datos relacionados con la gestión del conocimiento en resiliencia climática. Por lo tanto, ha consolidado la base de datos y garantizado la calidad de los instrumentos de recolección.

El laboratorio está enlazado con varios nodos inteligentes de datos que producen información para los servicios de transporte. Uno de ellos es el Nodo de **Infraestructura Resiliente**, encargado de coordinar el registro histórico de situaciones de riesgo reportadas en las vías públicas nacionales mediante el Banco de Datos de Gestión del Riesgo. El segundo nodo es el alimentado por el **Observatorio de Transporte**, el cual trabaja en el mantenimiento de datos de los activos viales de los servicios de transporte, con el fin de planificar, los sistemas de modelaje y mapeo de patrones de movilidad urbana mediante inteligencia artificial.

El Laboratorio vinculado con la Red Científica, interactúa con las plataformas de vigilancia de fenómenos naturales, garantizando el seguimiento a los indicadores de resiliencia en las obras de infraestructura. Asimismo, cuentan con el acompañamiento del Centro Nacional de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa.

En cuanto a las instituciones responsables de obras marítimas portuarias, estas articulan esfuerzos con diversas entidades para el monitoreo de la dinámica costera y la prevención de eventos en tierra.

Las instituciones encargadas de obras marítimas portuarias forman parte de la red institucional que articula esfuerzos para el monitoreo de la dinámica costera con el fin de prever eventos en tierra. En esta red participan el Centro Nacional de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa, la Red Científica y la entidad responsable de la gestión del riesgo en el país. Estas instituciones han gestionado fondos de inversión en desarrollo y han adquirido equipo de medición para el monitoreo permanente de las variables oceanográficas, incorporando estos instrumentos a la Red Científica que está en vigilancia de fenómenos naturales. También han recibido apoyo para adquirir tecnología Lidar para la elaboración de mapas batimétricos, fundamentales en el diseño de obras de infraestructura.

Adicionalmente, la Red de Movilidad Inteligente ha coordinado la forma en que los distintos modos de transporte —aéreo, marino y terrestre— gestionan, consumen, acceden y comparten sus datos. El objetivo ha sido mejorar procesos, optimizarlos y fortalecer la base de datos. Además, se ha consolidado el registro de monitoreo para dar seguimiento a las emisiones de GEI, lo cual facilita la gestión de datos en esta área.

La convergencia tecnológica continúa impulsando nuevas tendencias en el mundo. El país, sin embargo, mantiene restricciones en el gasto público y ha priorizado los recursos disponibles. Para ello se apoya en los centros de vigilancia instalados en las universidades, los cuales mantienen actualizado al país respecto de las tendencias tecnológicas. Mientras tanto, las instituciones, por medio de las unidades de capacitación del sector público, desarrollan formaciones especializadas para el uso de tecnologías en software libre según las necesidades más inmediatas.

Las universidades públicas continúan apoyando la labor social y han liderado, junto con los centros de capacitación del país, cursos orientados al empoderamiento ciudadano en resiliencia climática. Ofrecen diferentes módulos para profesionales, técnicos, operadores y ciudadanía en general. Según el perfil del usuario se definen las opciones disponibles. Estos proyectos reciben apoyo técnico de la entidad responsable de la gestión del riesgo y la acción climática en el país.

La visión país promueve una mayor conciencia en la generación de datos de calidad. Se reconoce que el avance puede lograrse con menor eficiencia debido a las limitaciones en soluciones tecnológicas, ya que no siempre se dispone de datos con la agilidad deseada. Esto ha generado una mayor conciencia en la cultura de los datos, aunque con menos recursos para potenciarla. Bajo esta premisa se ha trabajado en “priorizar recursos sin abandonar el blindaje climático”.

Escenario 3. Rezagados en el tiempo

Corre el año 2035 y los países del mundo continúan ejecutando acciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático. La temperatura supero el umbral de 1,5 °C y las políticas gubernamentales siguen aplicándose en esta lucha, para el cumplimiento de nuevas metas.

En Costa Rica ha aumentado la afectación territorial por el impacto de los eventos hidrometeorológicos. Las comunidades urbanas y rurales se inundan con frecuencia y los derrumbes en carretera siguen cobrando vidas humanas. El avance de la erosión costera en zonas críticas continúa. La planificación multisectorial no ha logrado establecer proyectos comunes. Cada institución formula sus proyectos según los objetivos de trabajo y las partidas presupuestarias asignadas. Se ha dificultado realizar gestión preventiva en la red vial nacional y las instituciones involucradas continúan priorizando sus recursos mientras atienden la ocurrencia de desastres.

Las instituciones cuentan con conocimiento instalado en su personal profesional; sin embargo, la movilidad laboral hacia otros puestos de trabajo limita los procesos para transferir conocimientos entre el recurso humano saliente y el entrante. Esto genera rezagos en las unidades de trabajo debido a la pérdida de conocimiento y al tiempo adicional requerido por el personal nuevo para alcanzar el rendimiento esperado. A ello se suma la escasa oferta de capacitación en el mercado para puestos especializados, lo que provoca un rezago en la recuperación del conocimiento.

La infraestructura vial no se encuentra en condiciones óptimas y esto afecta las calificaciones del país en los índices de competitividad. Tampoco se cumplen los indicadores de resiliencia climática para el nivel de transitabilidad requerido según los estándares mínimos. Esta brecha afecta principalmente a las zonas con mayor rezago social.

La academia mantiene un acervo bibliográfico relevante para el conocimiento científico del país y cuenta con laboratorios que emplean realidad aumentada para ofrecer capacitaciones y demostrar herramientas modernas utilizadas en los diseños de infraestructura resiliente. Con estas tecnologías se busca prevenir riesgos futuros mediante el uso de RA. Los centros de investigación continúan capitalizando su conocimiento mediante consultorías que responden a requerimientos técnicos de las instituciones de gobierno para cumplir con compromisos nacionales e internacionales.

Las instituciones a cargo de la construcción de obra pública mantienen convenios con la academia para acceder a recursos tecnológicos útiles en los procesos de licitación y a recursos de capacitación orientados al fortalecimiento de capacidades. La entidad responsable de la gestión del riesgo y los desastres continúa brindando asesoría técnica en conjunto con las instituciones encargadas de la atención primaria de emergencias. Sin embargo, las limitaciones presupuestarias persisten debido a que el fondo de emergencias no cubre la totalidad de los eventos reportados.

Las instituciones de gobierno mantienen en sus sitios web los datos que consideran útiles, mientras que la comunidad científica invierte recursos para generar sus propios datos e información con el fin de producir resultados para artículos científicos. En algunos casos, la información disponible carece de interoperabilidad, lo que vuelve tedioso y complejo el tratamiento de los datos al intentar combinarlos. Esto impide utilizar varias fuentes distintas. Además, a nivel gubernamental no existe una institución que coordine y mejore este proceso, lo que genera dificultades entre las propias instituciones para el consumo de datos.

Las instituciones de cada sector generan iniciativas individuales para la lucha contra el cambio climático. Invierten recursos y obtienen resultados, pero no intercambian información ni establecen sinergias que permitan mejorar los datos o incrementar los resultados. Mantienen una visión limitada a las funciones que corresponden a cada entidad y continúan dependiendo de los fondos de inversión en desarrollo mediante cooperación internacional para ejecutar proyectos más novedosos.

Por otra parte, el sector privado valora la rentabilidad de invertir en materiales más sostenibles —pero más costosos— frente a mantener los rendimientos asociados a los esquemas tradicionales de construcción, sin incorporar innovaciones ambientales. Si bien el ente encargado de promover construcciones sostenibles ha impulsado acciones para enfrentar el cambio climático, no existe una visión país que oriente políticas públicas hacia la sensibilización y la cooperación conjunta.

La vigilancia de fenómenos naturales permanece en manos de la academia mediante convenios con instituciones públicas para el acceso a datos. Sin embargo, la interpretación científica de los resultados depende de profesionales capacitados, por lo que se requiere una formación constante del personal para interpretar adecuadamente los registros generados por la vigilancia de fenómenos naturales y aprovechar las herramientas disponibles.

Las instituciones que representan a los actores públicos y privados del sector movilidad producen datos con calidades, formatos y precisiones distintas, lo que dificulta su uso combinado. Los recursos disponibles entre instituciones son desiguales, lo cual mantiene brechas significativas en la generación de datos y complica la gestión de información y conocimiento en el sector movilidad.

La inversión en desarrollo constituye un apoyo técnico y financiero para el país. El acercamiento con la cooperación internacional facilita el uso de tecnología en la ejecución de proyectos. Sin embargo, muchas alternativas vinculadas con el registro de grandes volúmenes de datos corren el riesgo de convertirse en recursos ociosos, dado que la gestión de datos no fue prioritaria en la administración pública y las instituciones han debido optar por la priorización de recursos ante la condición fiscal del país.

En este contexto de priorización, un grupo institucional produce datos de calidad, pero no los tiene disponibles. Otro grupo produce datos para capitalizar conocimiento y generar ingresos mediante la venta de información. Un tercer grupo destina partidas presupuestarias para comprar datos e información, alquilar equipos para crear sus propios datos o pagar consultorías para obtener información actualizada y relevante.

Las instituciones de gobierno continuarán planificando proyectos con los recursos institucionales disponibles del resto de entidades. Persistirá una brecha digital significativa entre las instituciones que sí cuentan con opciones para acceder a datos e información para distintos usuarios y aquellas que carecen de estas facilidades y recursos. En ausencia de un Sistema de Monitoreo de Zonificación de Usos del Suelo que integre las capas de los planes reguladores vigentes con sus restricciones territoriales, cada municipalidad publica la información que considera pertinente en sus sitios oficiales. Esta práctica impide contar con un sistema único que compile los datos y agilice los análisis y estudios de variables para la planificación territorial. Como resultado, la planificación presenta rezagos y dificultades para mejorar su eficiencia.

El sector responsable del mantenimiento y construcción de obra pública para servicios de transporte cuenta con distintos sistemas para gestionar la información, cada uno según las competencias institucionales. El sector dispone de un Observatorio de Datos de Transporte, pero existe dificultad para incrementar los datos publicados, ya que no todos los actores vinculados con transportes cuentan con las capacidades o herramientas para disponer de información precisa y actualizada. En otros casos, sí disponen de datos, pero carecen de funcionalidad interoperativa, lo que impide combinarlos. Esta situación genera dificultades para la innovación de productos y obstaculiza la generación de nuevo conocimiento.

En cuanto al Laboratorio de Resiliencia Climática, el personal continúa asesorando a las instituciones del Sector sobre cómo preparar y dar tratamiento a los datos remitidos por las unidades técnicas. El proceso de enseñanza para garantizar la sostenibilidad en el tiempo es vital y aún no ha finalizado, lo que reduce el tiempo disponible para generar investigación. Debido a la falta de recursos para incorporar más personal en el manejo de datos, se capacita al personal encargado de brindar estadísticas de calidad con el fin de cumplir con la entrega de

informes a los organismos nacionales e internacionales en el marco de los compromisos de metas. Ante la carencia de recursos, cada institución del Sector gestiona los datos de manera individual y sigue los lineamientos, directrices o protocolos mínimos establecidos. A nivel tecnológico no se ha implementado una solución integral que beneficie a las instituciones del Sector y al usuario final de los servicios de transporte. El laboratorio aún no dispone de volúmenes de datos suficientes para analizar fenómenos y aplicar herramientas tecnológicas para el análisis de datos.

Se han invertido recursos de cooperación internacional mediante la gestión de inversión en desarrollo en diferentes intentos por mejorar la gestión de datos en las instituciones y capacitar en tecnologías emergentes que emplean medios virtuales y realidad aumentada. Sin embargo, estos recursos no han sido aprovechados plenamente, dado que persisten brechas por reducir y el Sector no se encuentra nivelado en las mismas condiciones.

La convergencia tecnológica ha dejado atrás al Sector, en tanto el rezago institucional aumenta cada año. La mayoría de las novedades tecnológicas que permiten mayor eficiencia en las instituciones del mundo dependen de la aplicación de tecnologías basadas en internet de las cosas, *big data* o inteligencia artificial. Estas tecnologías requieren el cultivo de datos o el registro histórico de variables; de lo contrario, no es posible aprovechar las opciones tecnológicas disponibles. En este sentido, se mantiene la dependencia hacia los centros de investigación académicos, que sí disponen de recursos para la investigación, la generación de conocimiento, las capacidades y las herramientas necesarias para estudiar los fenómenos. Sin embargo, la propia academia depende también de la información real con la que cuentan las instituciones del Estado.

Escenario 4. Despilfarro en el aire

Corre el año 2035 y los países del mundo continúan ejecutando acciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático. La temperatura supero el umbral de 1,5 °C y las políticas gubernamentales siguen aplicándose en esta lucha, para el cumplimiento de nuevas metas.

En Costa Rica ha aumentado la afectación territorial ante la frecuencia de eventos hidrometeorológicos. Los eventos de inundación y derrumbe continúan siendo frecuentes y las cifras de daños no son alentadoras. El país sigue invirtiendo recursos en reconstrucción y no en prevención. Se ha buscado construir una cultura de resiliencia climática como parte de la gestión del riesgo y de los desastres, innovando mediante soluciones tecnológicas y reforzando capacidades. Sin embargo, la gestión inadecuada de los datos ha dificultado la administración de los recursos y la cuantificación de pérdidas, lo que ha generado dificultades en los índices globales internacionales. Las instituciones han preferido invertir en soluciones tecnológicas alineadas con las tendencias del mercado.

El Centro de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa del país y los laboratorios de innovación regenerativa han colaborado en la triada institucional de los Guardianes del Riesgo Futuro. Han impulsado distintas redes sectoriales para generar resiliencia climática adaptativa y regenerativa, además de fortalecer la mitigación mediante la transformación energética. Estas tres instituciones coordinadoras atienden los ámbitos ambientales, meteorológicos y de atención de emergencias. El sector privado, en coordinación con el Centro de Sostenibilidad Climática, ha creado sus propias líneas de apoyo para la resiliencia climática y la obra adaptativa, siguiendo la visión nacional de innovación y desarrollo.

Actualmente, las instituciones no cuentan con incentivos para compartir datos o información más allá de lo que publican habitualmente en sus plataformas institucionales. Cada entidad produce datos y los publica en sus canales oficiales sin una visión compartida. La ciencia abierta ha sido impulsada desde el ámbito universitario, pero aún no permea en el sector institucional. La entidad a cargo de la gestión del riesgo, en cooperación con el Centro de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa, ha promovido la Plataforma Transformativa Júña Digital. Sin embargo, el país carece de un instrumento legal que fomente la comunidad de datos compartidos.

Además, persisten rezagos en la gestión de registros históricos en algunas instituciones debido a brechas no solventadas, lo que ha retrasado la eficiencia en la gestión.

Debido al rezago en los datos, solo algunas redes sectoriales se han habilitado. La primera es la **Red de Investigación**, conformada por universidades y centros de investigación que lideran las publicaciones científicas. Se espera que empleen enfoques de vigilancia tecnológica con perspectiva sectorial, para generar material útil para las instituciones y el sector privado. La segunda es la **Red Científica**, integrada por instituciones responsables de la vigilancia de fenómenos naturales, donde las proyecciones de escenarios climáticos son parte de la planificación territorial desde hace varios años.

La red del sector privado, denominada **Sostenibilidad Constructiva**, está acompañada por laboratorios especializados en ingeniería, arquitectura y nanotecnología. Una de sus líneas de trabajo es la promoción de materiales sostenibles y la exploración de diseños arquitectónicos que conciben la adaptación como un organismo vivo dentro del ecosistema en regeneración. En contraste, las redes que han enfrentado mayores dificultades para activarse son la **Red de Monitoreo** y la **Red de Movilidad Inteligente**, conformada por todas las instituciones responsables del sector transporte, incluidas aquellas que contabilizan la movilidad ciclista libre de emisiones.

Este contexto de las cinco R está influenciado por las tendencias globales en ciencia abierta, las cuales también han permeado en los productos de inversión en desarrollo mediante cooperación internacional. Estos productos se han diversificado hacia el enfoque de “tecnologías centralizadas pero compartidas”; sin embargo, aún no se cuenta con mecanismos que faciliten el establecimiento de sinergias institucionales.

La Red de Monitoreo está coordinada bajo la guía preventiva de la entidad responsable de la gestión del riesgo. Aún no ha sido posible instalar los sensores porque no existe coincidencia sobre los sitios que requieren atención prioritaria, debido a la ausencia de un registro constante de los lugares con mayor cantidad de eventos históricos reportados.

Se han impulsado convenios para dar soporte de resiliencia climática a obras de infraestructura continental y costera mediante acuerdos con el Centro Nacional de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa. En coordinación con las municipalidades, en territorios específicos se ha implementado la utilización de pavimentos alternativos para reducir el tiempo de inundación en zonas urbanas, según las recomendaciones del Laboratorio de Pavimentos Sostenibles del país y en enlace con los productos de la Red de Sostenibilidad Constructiva.

El Instituto Nacional de Ambiente y Urbanismo ha habilitado el Sistema de Monitoreo de Zonificación de Usos del Suelo como solución tecnológica para la consulta de información territorial contenida en los planes reguladores. No obstante, no todas las municipalidades cumplen con los requerimientos para subir los datos al sistema. La herramienta pretende colaborar en el monitoreo preventivo de los cambios en el uso de la tierra y su impacto en la impermeabilización del suelo, lo cual puede generar problemas en las superficies de riego de los servicios de transporte. Este sistema también ha sido utilizado por las direcciones encargadas de la construcción de infraestructura vial o marítimo-portuaria y por los desarrolladores de obra pública como insumo tecnológico para cálculos hidráulicos y otros estudios; sin embargo, aún existen territorios sin datos debido a la falta de una cultura consolidada de datos de calidad.

El sector de infraestructura pública de los servicios de transporte ha planteado soluciones tecnológicas para la producción y consumo de datos institucionales, incorporando la innovación en sus procesos. La solución tecnológica se organiza mediante nodos inteligentes de datos interconectados entre sí. Uno de estos nodos es el **Laboratorio de Resiliencia Climática**, el cual se ha concentrado en capacitar a las unidades técnicas sobre cómo preparar y dar tratamiento a los datos. Este proceso de enseñanza continúa activo, lo que reduce el tiempo disponible para generar investigación. A falta de recursos, cada institución gestiona sus datos de manera individual y sigue los lineamientos, directrices o protocolos mínimos establecidos.

A nivel tecnológico se cuenta con herramientas obtenidas mediante cooperación internacional, pero estas no se han aprovechado debido a la falta de volúmenes de datos suficientes. Una situación similar ocurre con el **Nodo de Infraestructura Resiliente**; aunque tiene acceso a las plataformas de la Red Científica, la generación de sus datos no ha sido clara ni continua, lo que afecta los insumos para el Observatorio de Transporte, el cual depende de datos provenientes de otras instancias, como la Red de Movilidad.

La Red de Movilidad Inteligente tiene acceso a la Plataforma Transformativa Júña, pero no ha sido utilizada plenamente debido a dificultades en la gestión de datos. Las calidades, formatos y precisiones de la información difieren entre los actores que integran la red, lo que dificulta su uso combinado. Los recursos disponibles difieren entre instituciones, lo que mantiene brechas significativas entre quienes deben garantizar la interoperabilidad de los datos.

Las instituciones responsables de obras marítimo-portuarias forman parte de la red institucional que articula esfuerzos para el monitoreo de la dinámica costera con el fin de prever eventos en tierra. En esta red participan el Centro Nacional de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa, la Red Científica y la entidad responsable de la gestión del riesgo en el país. Estas instituciones han gestionado fondos de inversión en desarrollo para adquirir equipo de medición destinado al monitoreo permanente de variables oceanográficas, incorporando estos instrumentos a la red de vigilancia de fenómenos naturales. Además, han contado con apoyo para disponer de tecnología Lidar para mapas batimétricos, fundamentales en el diseño de obras de infraestructura.

La red de universidades públicas mantiene su vocación social y ha liderado, junto con los centros de capacitación del país, cursos orientados al empoderamiento ciudadano. Disponen de módulos para profesionales, técnicos, operadores y ciudadanía en general. Según el perfil del usuario se determina el acceso a cursos, incluidos aquellos de mayor complejidad para el análisis de eventos hidrometeorológicos. Este proyecto cuenta con el apoyo técnico del Centro Nacional de Alta Tecnología e Innovación Regenerativa.

La convergencia tecnológica continúa impulsando nuevas tendencias y el país se mantiene preparado mediante los centros de vigilancia instalados en las universidades. Estos centros mantienen actualizado al país respecto de las tendencias tecnológicas institucionales y generan nuevas mallas curriculares o actualizan las existentes para diversificar los cursos de capacitación según las tecnologías emergentes.

Las instituciones mantienen brechas en recursos y capacidades para la gestión de datos o el uso de soluciones tecnológicas. Los recursos estatales no se han administrado de manera óptima y, en algunos casos, se convierten en recursos ociosos. La gestión del conocimiento continúa presentando carencias por falta de datos y, cuando existen, no tienen la calidad necesaria.

Propuesta de líneas estratégicas

Es importante considerar este estudio prospectivo como el insumo científico para construir el futuro de la gestión del conocimiento en resiliencia climática del Sector; en consecuencia, la estrategia a seguir quedará en manos de las autoridades respectivas.

El planteamiento estratégico esbozado ofrece líneas de acción derivadas del escenario apuesta “*Pellizcando sueños*”, elegido por los participantes del taller con base en argumentos relacionados con la condición fiscal del país, la limitación de recursos y la necesidad urgente de gestionar datos en el Sector para asegurar el monitoreo y seguimiento adecuados que permitan garantizar infraestructura resiliente en los servicios de transporte.

La elección del escenario se efectuó en la última etapa del taller, a partir de una ronda de votaciones por medio de una matriz de análisis multiescenarios en tiempo real, argumentada por cada participante del porque elegía o no el escenario, siendo justificaciones realistas considerando el conocimiento que cada uno tiene de la organización, de esta manera se sumaron los votos y la decisión fue unánime.

La ruta estratégica toma como eje central la “gestión de datos y soluciones tecnológicas”, variables de enlace y direccionamiento del escenario apuesta. Estas variables se encuentran bajo control del Sector y, a su vez, interactúan con el resto del entorno, cuyas dinámicas pueden movilizarse mediante decisiones estratégicas. Las soluciones tecnológicas constituyen el conductor que acompaña la gestión de los datos con el fin de alcanzar la meta de contar con infraestructura resiliente, considerando los requerimientos de la gestión del conocimiento del futuro.

En este movimiento de variables también pueden gestionarse los retos del entorno, de modo que operen a favor del Sector e impulsen la gestión de datos y soluciones tecnológicas. Las líneas estratégicas planteadas se articulan para proponerle a la organización ¿cómo prepararse para la imagen de futuro narrada en el escenario apuesta? ¿Qué resultados debería tener la organización 2035 para el escenario “*Pellizcando sueños*”? La respuesta se desarrolla en los planteamientos siguientes.

Línea 1. Gestión de los datos. Para gestionar infraestructura resiliente en el país, el Sector requiere establecer un sistema de gestión de datos en resiliencia climática con una visión compartida. Este sistema debe contemplar un esquema de articulación de datos que incorpore la gobernanza de la gestión del conocimiento del Sector, una estrategia de datos con propósito, un plan de gestión de datos y la activación de nodos inteligentes de datos orientados al futuro de la resiliencia climática.

Objetivo: Diseñar el sistema de articulación de datos para la gestión del conocimiento en resiliencia climática en el Sector Obras Públicas y Transporte	
Objetivos específicos	Resultados
Diseñar la estructura de gestión de conocimiento en resiliencia climática del Sector	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gobernanza en la gestión de conocimiento en resiliencia climática (actores, roles, procesos). 2. Estrategia “datos con propósito” para continuidad en el tiempo. 3. Plan de Gestión de Datos en Resiliencia Climática.
Implementar una plataforma de gestión de conocimiento que integre datos, información, lecciones aprendidas, en materia de resiliencia climática para el Sector.	<ol style="list-style-type: none"> 4. Nodos de “inteligencia de datos” que pueden coordinar las redes dentro del Sector: Nodo de Infraestructura Resiliente, Nodo Observatorio de Transporte, articulados al Laboratorio de Resiliencia Climática. 5. Enlaces por cada nodo y la coordinación interinstitucional para la interacción de los datos.
Capacitar a los actores, en temas de datos, información y conocimiento.	<ol style="list-style-type: none"> 6. Catálogo de contenidos de formaciones técnicas. 7. Capacitación a los encargados de la producción de datos según la cultura transformativa de administración de datos.

Establecer medios de cooperación para el fortalecimiento de recursos humanos	8. Programa de Investigación+ Desarrollo+ Innovación (I+D+i) con sectores de investigación
--	--

Fuente: elaboración propia (2025).

Línea 2. Accesibilidad e interoperabilidad de los datos. Es importante generar datos con la rigurosidad necesaria para que puedan ser consumidos por los usuarios que los requieren. De esta forma, se fomenta la producción de información y conocimiento de calidad que contribuya a la construcción de infraestructura resiliente.

Objetivo: Garantizar que la gestión del conocimiento en resiliencia climática en el Sector promueva la accesibilidad e interoperabilidad de los datos, para la toma de decisiones.	
Objetivos específicos	Resultados
Desarrollar los datos según estándares de interoperabilidad que faciliten el intercambio e integración entre las instituciones del Sector.	1. Acuerdos institucionales para la interoperabilidad de los datos y el intercambio de los mismos. 2. Espacios de co-creación de los datos que garanticen la funcionalidad y utilidad para el Sector y demás usuarios.
Promover el uso de indicadores de resiliencia basados en datos accesibles, confiables y actualizados	3. Indicadores de desempeño para la gestión de calidad de los datos.

Fuente: elaboración propia (2025).

Línea 3. Soluciones tecnológicas. El cuerpo de actores institucionales requiere apoyarse en soluciones tecnológicas de código libre o licenciado que les permitan manipular, crear, editar, registrar, administrar o visualizar datos para generar información y conocimiento más ordenados, estructurados y con propósito, orientado a la resiliencia climática en obras de infraestructura y transporte. Asimismo, estas soluciones deben generar los medios necesarios para el intercambio de datos e información entre los usuarios del Sector y actores externos.

Objetivo: Promover el uso de soluciones tecnológicas para la gestión de conocimiento en resiliencia climática, en el Sector de Obras Públicas y Transportes.	
Objetivos específicos	Resultados
Gestionar la información y conocimiento con soluciones tecnológicas	1. Convenios con organismos que den asesoría en procesos de innovación en la organización pública. 2. Acompañamiento cada una de las etapas del diseño del sistema de articulación de datos. 3. Funcionamiento del Laboratorio de Resiliencia Climática.
Impulsar cooperación interinstitucional e internacional para el enriquecimiento de buenas prácticas e innovación de procesos	4. Intercambio de experiencias y buenas prácticas en soluciones tecnológicas con otras instituciones en el país, o fuera. 5. Mecanismos diversos de aprendizaje con la cooperación internacional utilizando tecnologías (RA, IA, robótica, etc.)
Gestionar las capacitaciones requeridas en tecnología.	6. Transferencia de conocimiento, para el fortalecimiento de capacidades en tecnologías emergentes

Fuente: elaboración propia (2025).

Línea 4. Formación integral para el fortalecimiento de capacidades en la resiliencia climática.

Este proceso de formación debe abarcar dos niveles de abordaje. El primero, de carácter local, profundiza y mejora las capacidades primarias para atender las necesidades de cada línea estratégica y gestionar las capacidades de los actores involucrados en cada proceso, es transversal en las demás líneas. El segundo nivel se orienta a las nuevas tendencias en el ámbito internacional. Para este fin, se plantea utilizar los resultados de la vigilancia tecnológica para analizar las propuestas científicas desarrolladas en otras partes del mundo en la aplicación de técnicas o métodos para cada uno de los modos de transporte del país. Este propósito conlleva, a su vez, inteligencia competitiva y la identificación de las tecnologías empleadas por homólogos del Sector, así como las soluciones alcanzadas mediante dichas implementaciones.

Con ambos enfoques se atiende la formación sustantiva más inmediata y se proyectan capacidades con una mirada de futuro. De esta manera, se prepara al personal técnico con herramientas acordes con un entorno volátil e incierto, y se favorece el desarrollo de un pensamiento orientado a la innovación de capacidades.

Objetivo: Establecer un programa de formación integral de capacidades para la resiliencia climática en el Sector en cada línea estratégica, apoyado en resultados de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva	
Objetivos específicos	Resultados
Vigilar continuamente las tendencias tecnológicas y hacer inteligencia competitiva en temas de resiliencia climática en infraestructura de transporte para mantener actualizado al Sector.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis de tendencias tecnológicas en infraestructura resiliente de los diferentes modos de transporte. 2. Análisis de inteligencia competitiva en el mundo en los diferentes modos de transporte. 3. Información de buenas prácticas internacionales, en resiliencia climática para infraestructura en servicios de transporte.
Generar una estructura de formación de capacidades, según necesidades de cada línea estratégica.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Catálogo de formación técnica según tendencias de Vigilancia Tecnológica
Crear un banco de formadores para fortalecimiento de capacidades.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación de profesionales especialistas, según las áreas de interés. 2. Formación para formadores a lo interno del Sector.

Fuente: elaboración propia (2025).

Línea 5. Vigilancia integral de fenómenos naturales. Es importante contar con enlaces institucionales para las plataformas de vigilancia de fenómenos naturales a nivel nacional e identificar aquellas de importancia a nivel internacional, por su importancia en datos o información, con capacidades técnicas para la interpretación de los mismos y su aprovechamiento para los análisis respectivos, principalmente la lectura de los escenarios climáticos en escalas territoriales por país, importante para el consumo de datos e información en los nodos de inteligencia del Sector.

Objetivo: Determinar los mecanismos para la articulación de los sistemas involucrados en la vigilancia integral de fenómenos naturales, en beneficio de la resiliencia climática en infraestructura de transporte del país.

Objetivos específicos	Resultados
Vincular las instituciones con plataformas de monitoreo climático con el sistema de gestión de conocimiento del Sector	<ol style="list-style-type: none">1. Plataformas de vigilancia de fenómenos naturales y enlaces para el consumo y divulgación de información.2. Convenios para el acceso a datos, información, capacitación y al sistema de reportes de las plataformas de monitoreo disponibles.3. Divulgación de información anual con los principales resultados de las vigilancias.

Fuente: elaboración propia (2025).

La implementación de estas líneas estratégicas dependerá exclusivamente de las voluntades políticas del Gobierno de Costa Rica, sus prioridades, y su planificación multisectorial, por tanto, es un planteamiento que no depende exclusivamente de la organización, sino de las fuerzas vivas nacionales, según la priorización de recursos presupuestarios.

Conclusiones

En Costa Rica la institucionalidad pública dispone de mecanismos que han permitido, en momentos estratégicos, unir esfuerzos para atender problemas o situaciones concretas. Dichos mecanismos facilitan el enfoque de los recursos institucionales hacia metas específicas en determinados territorios. En la actualidad, la lucha contra el Cambio Climático requiere que el país continúe articulando el tejido multisectorial para generar las condiciones habilitantes que necesitará en el futuro.

Alcanzar la resiliencia climática nacional exige la colaboración de actores públicos y privados, de la academia, del sector municipal, del sector productivo y de la sociedad civil. Cada uno, desde escalas territoriales distintas, puede aportar acciones para cumplir el objetivo general.

La ciencia prospectiva ofrece enfoques para explorar futuros posibles. La corriente voluntarista aplica el método prospectivo y construye un conjunto de escenarios, entre los cuales la organización elige aquel que resulta más conveniente según las condiciones del sistema al que pertenece. A partir de esa elección se traza la ruta de acción mediante la planificación prospectiva estratégica. En ese punto, la construcción del futuro se vuelve factible mediante la organización de voluntades políticas y la asignación de responsabilidades a los actores que pueden modificar condiciones y gestionar los cambios necesarios para influir en ese porvenir.

Los resultados del objetivo 1 del Estado del Arte aportan al Sector de Obras Públicas y Transporte un insumo científico relevante para la gestión de conocimiento en resiliencia climática. Este insumo exploró el entorno del sistema e identificó megatendencias y tendencias que se encuentran en constante movimiento a escala global. Tales fuerzas motrices afectan y seguirán afectando al Sector hacia el año 2035. Asimismo, se evidenciaron tendencias tecnológicas que pueden estimular el entorno competitivo del Sector, así como los actores estratégicos que conviene seguir y con los cuales resulta pertinente establecer convenios de colaboración técnica en materia de datos, información, conocimiento, innovación y tecnologías emergentes.

El Estado del Arte mostró que la gestión de conocimiento en resiliencia climática trasciende las competencias internas del Sector. La articulación con actores externos que producen datos es indispensable para garantizar la disponibilidad de información con rigurosidad, precisión, calidad e interoperabilidad para el consumo del resto de usuarios.

También, se demostró que la gestión de datos, información y conocimiento del Sector requiere partir de la comprensión de la pirámide de agregación de valor. Esa comprensión permite sensibilizar sobre la importancia de producir datos con propósito y con intención de impacto futuro. Además, contribuye a promover una planificación de largo plazo que aproveche las tendencias tecnológicas y evite el rezago, en especial mediante el uso estratégico de la inteligencia artificial para la gestión de datos u otras tendencias como gemelos digitales o realidad aumentada.

La Vigilancia Tecnológica y la Inteligencia Competitiva presentaron un análisis que permite anticipar tecnologías futuras, conocer cómo operan otros homólogos y visualizar su posible implementación en cada modo de transporte. Este análisis facilita la identificación de los conocimientos, herramientas y capacidades que deben reforzarse, mejorarse o incorporarse en el capital humano y tecnológico del Sector para incrementar el capital de conocimiento requerido para la resiliencia climática.

El objetivo 2 permitió identificar y seleccionar los factores de cambio mediante el Banco de Señales, construido a partir de las fuentes consultadas y de las entrevistas realizadas. Las entrevistas fueron especialmente valiosas al evidenciar la necesidad de promover una administración pública que impulse la innovación como motor de transformación institucional. Además, subrayaron la relevancia de generar cambios concretos, útiles y

sostenibles en el tiempo, así como políticas públicas que permitan cocrear desde un enfoque multisectorial con el fin de mejorar la cultura de los datos y del conocimiento.

El taller de factores de cambio cumplió con los propósitos de identificar los factores, elegir las variables estratégicas y seleccionar los conductores de cambio establecidos por los participantes. También permitió recoger opiniones sobre los escenarios representados en los Ejes de Peter Schwartz. Este espacio aportó información significativa para construir las narrativas de escenarios y complementó los aportes de los expertos entrevistados, cuyas contribuciones alimentaron el Banco de Señales.

Finalmente, el objetivo 3 presentó un planteamiento de líneas estratégicas para el futuro de la gestión de conocimiento del Sector. Postuló líneas con sus respectivos objetivos y resultados esperados, concebidas como una propuesta para habilitar las condiciones necesarias que se requieren para prepararse ante el escenario apuesta. Dicho escenario demanda sinergias más claras y definidas entre las instituciones del Sector, de modo que las brechas en recursos de datos, sistemas y herramientas interactivas se reduzcan progresivamente. El fin último es consolidar el proceso de gestión de conocimiento que requiere el Sector.

Recomendaciones

A partir de los resultados del objetivo 1, el Estado del Arte evidencia fortalezas del Sector en el capital humano y disparidades en el capital tecnológico. También identifica debilidades o aspectos que requieren mejora. Este diagnóstico se complementó con los resultados de la vigilancia tecnológica y el análisis de inteligencia competitiva, que permitieron conocer las acciones desarrolladas por homólogos del Sector en otros países. Asimismo, aportó insumos para valorar, según la dinámica del sistema en que se inserta el Sector, las estrategias integrales necesarias para dinamizar el capital de conocimiento en resiliencia climática, transferirlo y lograr que permee en todas las instituciones involucradas.

Con base en las líneas estratégicas y en los resultados de cada objetivo, las recomendaciones deben reforzar las acciones orientadas a prepararse ante el escenario apuesta. Dichas acciones giran en torno a la gestión de datos, la accesibilidad e interoperabilidad, las soluciones tecnológicas, las formaciones integrales de capacitación y la vigilancia de fenómenos naturales.

Vinculado con los resultados del Estado del Arte, el Sector debe ejecutar acciones en los siguientes ámbitos:

- En materia de gestión de datos, conviene estudiar los principales obstáculos que enfrentan las unidades técnicas para crearlos, administrarlos y publicarlos. También resulta necesario planificar una hoja de ruta que permita solventarlos de manera progresiva. Se requiere generar capacidades para reducir brechas sectoriales, identificar y recomendar soluciones tecnológicas acordes con las necesidades de cada área técnica y elaborar planes de gestión de datos para la resiliencia climática.
- En accesibilidad e interoperabilidad, es fundamental trabajar con las unidades técnicas que producen datos para cada modo de transporte y visualizar integralmente una forma de articular, gestionar y compartir esos datos en una plataforma común que permita el aprovechamiento de la investigación y del conocimiento generado en el Sector. Esta articulación contribuye a la competitividad de los servicios de transporte y a mejorar la experiencia del usuario. Conviene valorar la consolidación de un marco sólido de cooperación interinstitucional que integre los datos en una única plataforma, concebido como un laboratorio de gestión de conocimiento y resiliencia climática, con el fin de fortalecer la toma de decisiones y evitar esfuerzos aislados o desarticulados. Esta plataforma debe integrar, además, otros sistemas externos al Sector.

- En formación integral, se requiere desarrollar un banco de formadores que apoye la transferencia de conocimientos en temáticas específicas. La estructura de aprendizaje debe contemplar procesos, incentivos y herramientas que garanticen sostenibilidad en el tiempo.
- En tecnologías emergentes, los programas de actualización profesional deben incorporar de manera transversal temáticas vinculadas con SIG, Big Data, IA, realidad aumentada, gemelos digitales y otras tendencias que ya inciden en la gestión del conocimiento del Sector. Se debe incentivar la cultura de generación de datos para aprovechar estas tecnologías y formar parte de un entorno competitivo que utiliza herramientas tecnológicas para incrementar eficiencia y eficacia.
- En competitividad, se debe impulsar la ejecución de estudios estratégicos en Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva para los diferentes servicios de transporte multimodal y para la infraestructura habilitada en cada uno de ellos. La exploración del entorno para cada modo de transporte puede orientar decisiones, planes de capacitación y acciones destinadas a mejorar la competitividad, agilizar procesos y apoyar la gestión operativa.

Con el objetivo 2, la narrativa de los cuatro escenarios constituye un insumo valioso para que el Sector valore opciones de futuro y oriente esfuerzos hacia el escenario apuesta. Este ejercicio contribuye a reducir la incertidumbre y facilitar la adopción de una hoja de ruta para la construcción del futuro.

Para el objetivo 3, las líneas estratégicas planteadas aportan enfoques de trabajo que pueden contribuir al cumplimiento de algunos objetivos del Plan de Adaptación y Mitigación de Cambio Climático del Sector. Se recomienda compartir los resultados de la investigación para orientar, desde un enfoque prospectivo, a los profesionales responsables de las iniciativas relacionadas con gestión del conocimiento. En ese marco, las líneas estratégicas 1, 2 y 3 apoyan la creación del laboratorio de resiliencia climática. La línea 4 contribuye al desarrollo de un programa de formación y la línea 5 favorece la articulación de programas de monitoreo.

Bibliografía

- Abarca Rodríguez, Sofía (2024). *Aplicación de la realidad aumentada en la inspección de obra como herramienta para la detección de problemas de construcción*. Tesis (licenciatura en ingeniería civil). Universidad de Costa Rica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/9abb4671-8736-43b5-9ffb-b9aa0b47fae8/full>
- Adriasola, F. (2019). Escenarios futuros, un complemento para métodos de innovación en Chile y Latinoamérica. *RChD: Creación Y Pensamiento*, 4(7). <https://doi.org/10.5354/0719-837X.2019.53253>
- Acevedo, S., & Dassen, N. (2016). *Innovando para una mejor gestión: La contribución de los laboratorios de innovación pública*. <https://doi.org/10.18235/0010661>
- Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). (s.f). *¿Qué es Climate-ADAPT?* <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/about/index.html>
- Aguirre, J., (2015). Inteligencia estratégica: un sistema para gestionar la innovación. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 100-110. <https://www.redalyc.org/pdf/212/21233043011.pdf>
- Avendaño Pérez, V., & Flores Urbáez, M. (2016). *Modelos teóricos de gestión del conocimiento: descriptores, conceptualizaciones y enfoques*. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 4(10), 201-227. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457646537004>
- Arrieta Esteban (09 de julio 2025). *Costa Rica se convirtió en un país de ingreso alto: ¿cómo beneficia a los ciudadanos?*. La República. <https://www.larepublica.net/noticia/costa-rica-se-convirtio-en-un-pais-de-ingreso-alto-como-beneficia-a-los-ciudadanos>
- Ban, Q., Tian, G., Xia, Q., Chen, Y., Zhao, Q., & Wan, X. (2025). Resilience assessment of city-level virtual water flow network in the Yellow River Basin, China. *Sustainable Cities and Society*, 106529.
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA) (2025). *Los niveles de madurez del sector cleantech: una hoja de ruta hacia la sostenibilidad*. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/los-niveles-de-madurez-del-sector-cleantech-una-hoja-de-ruta-hacia-la-sostenibilidad/>
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2022). *Material de curso: Análisis del riesgo de desastres y cambio climático en proyectos de infraestructura*.
- Baena Paz Guillermina (2016). *Prospectiva; sus métodos y técnicas*. Instituto de Administración Pública del Estado de México.
- Bayar Robert (1978). Cultural futures for thailand: An ethnographic enquiry, *Futures*. *Revista Futures* Volume 10, Issue 5, Pages 347-360. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0016328778900022>
- Bermúdez Rodríguez Tatiana (2022). *Material de curso: Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva con énfasis en el uso estratégico de la información contenida en las patentes*. Período octubre 25 a noviembre 15 de 2022, plataforma Zoom.
- Breen, M. J., Kebede, A. S., & König, C. S. (2025). Agent-based socio-spatial modelling of coupled human-flood interactions along the UK coast. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 5(2), 025013. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2634-4505/addeeb>

- Biresselioglu, M. E., Kaplan, M. D., & Yilmaz, B. K. (2018). *Electric mobility in Europe: A comprehensive review of motivators and barriers in decision making processes*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 109, 1-13. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965856417311771>
- Camarillo Brenda (27 de junio del 2022). *Costa Rica se ubica en el puesto 68 en el mundo y 15 en Latinoamérica en desempeño ambiental*. *La República*. <https://www.larepublica.net/noticia/costa-rica-se-ubica-en-el-puesto-68-en-el-mundo-y-15-en-latinoamerica-en-desempeno-ambiental>
- Camós Gibet, Bertossi Fanny y Santos Arias Fabricio (2020). El potencial de la impresión 3D en el sector transporte. <https://blogs.iadb.org/transporte/es/el-potencial-de-la-impresion-3d-en-el-sector-transporte/>
- Canals Agustí (2003). *La gestión del conocimiento*. http://148.202.167.116:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3300/Gesti%3%b3n_conocimiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CAPRA- Probabilistic Risk Assesmente Platform- (s.f). *Acerca de*. [https://ecapra.org/es#:~:text=La%20Plataforma%20CAPRA%20\(Evaluaci%3%B3n%20Probabil%3%ADstica,pol%3%ADticas%20y%20programas%20de%20desarrollo](https://ecapra.org/es#:~:text=La%20Plataforma%20CAPRA%20(Evaluaci%3%B3n%20Probabil%3%ADstica,pol%3%ADticas%20y%20programas%20de%20desarrollo).
- Carro Suárez Jorge y Sarmiento Paredes Susana (2022). El factor humano y su rol en la transición a Industria 5.0: una revisión sistemática y perspectivas futuras. <https://www.redalyc.org/journal/4576/457669807011/html/>
- Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres en América Central y República Dominicana – CEPREDENAC. (s. f.). *¿Qué hacemos?* <https://cepredenac.org/que-hacemos/>
- Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) (s.f). *Quiénes Somos*. <https://cigefi.ucr.ac.cr/quienes-somos/>
- Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) (s.f). *Equipo*. <https://cigefi.ucr.ac.cr/equipo/>
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN)(2015). *Mega Tendencias: un análisis del estado global*. https://www.ceplan.gob.pe/documentos/_megatendencias-un-analisis-del-estado-global/
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). (s. f.). *Presentación* [Quiénes somos]. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible / Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.cedex.es/index.php/presentacion>
- Centro Tecnológico de la Construcción de la Región de Murcia (CTCON). (s. f.). *Sobre nosotros*. <https://ctcon-m.com/es/sobre-nosotros/>
- Climate Bonds Initiative (CBI)(2019). *Principios de Resiliencia Climática. Marco para evaluar la resiliencia climática en inversiones* (Recuperado el 06 de octubre del 2022) https://www.climatebonds.net/files/page/files/principios_de_resiliencia_climatica_spanish_0.pdf
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA). (s. f.). *Departamento de Sostenibilidad y Cambio Climático*. <https://cfia.or.cr/site/direcciones/direccion-de-proyectos-e-investigacion/departamento-de-sostenibilidad-y-cambio-climatico/>

- Collins, E. L., Sanchez, G. M., Terando, A., Stillwell, C. C., Mitasova, H., Sebastian, A., & Meentemeyer, R. K. (2022). *Predicting flood damage probability across the conterminous United States*. Environmental Research Letters, 17(3), 034006. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac4f0f>
- Comisión Europea. (s. f.). *Acerca de CORDIS*. <https://cordis.europa.eu/about/es>
- Comisión Europea. (s. f.). Zenodo. *EU Open Research Repository*. <https://zenodo.org/communities/eu/>
- Comisión Nacional de Emergencias (s.f). *Sistema de seguimiento y monitoreo. Histórico de pérdidas Costa Rica 2005-2023*. https://www.cne.go.cr/transparencia/datos_abiertos.aspx
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (s.f). *Biblioteca. "Gestión del Conocimiento (GDC): 1.4 GESTIÓN de la Información VS Gestión del Conocimiento"*. <https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=738015&p=5275988>.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). Nota informativa: Presentan iniciativa RIDASICC en congreso de ingeniería sanitaria y ambiental. <https://www.cepal.org/es/notas/presentan-iniciativa-ridasicc-congreso-ingenieria-sanitaria-ambiental>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2023). Nota informativa: Se presenta Proyecto RIDASICC en evento de Financiamiento Climático en Ciudad Guatemala, Guatemala. <https://www.cepal.org/es/notas/se-presenta-proyecto-ridasicc-evento-financiamiento-climatico-ciudad-guatemala-guatemala>
- Comisión Nacional de Emergencias (CNE) (2015). *Política Nacional de Gestión de Riesgos 2016-2030*.
- Comisión Nacional de Emergencias (CNE) (s.f). *Reportes de Daños y Pérdidas - Datos Generales 2021 – 2025*. <https://cnecr.maps.arcgis.com/apps/dashboards/618974dd00304c429b89f395b5386f59>
- Contraloría General de la República (CGR) (2021). Más allá del ritual: planificar para una gestión pública resiliente ante entornos dinámicos. https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docs_cgr/2022/SIGYD_D/SIGYD_D_2022007545.pdf
- Consejo Nacional de Concesiones (CNC) (s.f). *Acerca del CNC*. <https://www.cnc.go.cr/quienes-somos/acerca-del-cnc>
- Consejo Nacional de Viabilidad (CONAVI) (2018). *Diagnóstico Integral del Riesgo de la Red Vial Nacional*. Unidad de Sistemas de Información. San José, Costa Rica.
- Consejo Nacional de Viabilidad (CONAVI) (2020). Reapertura del paso en la Red Vial Nacional posterior a un evento. San José, Costa Rica <https://www.conavi.go.cr:10039/wps/wcm/connect/3cd99207-a645-41ba-8f80-d9da5f60f75e/Final+Procedimiento+reapertura+de+pasos.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=3cd99207-a645-41ba-8f80-d9da5f60f75e>
- Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)(2022). *Plan institucional para la adaptación de la Red Vial Nacional ante amenazas de origen hidrometeorológico y climáticas en Costa Rica*. / San José, C.R.:
- Consejo de Seguridad Vial (COSEVI)(2023). *Plan Estratégico Institucional 2023-2030*. <https://www.csv.go.cr/documents/20126/0/PEI+2023-2030.pdf/4a032570-2e20-f27e-1a38-8b7e9dfa5c59?t=1696624041782>

- Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) (s.f). Observatorio Costarricense de Seguridad Vial. <https://www.csv.go.cr/observatorio>
- Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) (s.f). ¿Quiénes somos? <https://www.csv.go.cr/quienes-somos>
- Consejo de Transporte Público (2025). *Plan Estratégico Institucional 2025-2030*. <https://www.ctp.go.cr/transparencia/planes-institucionales>
- Consejo de Transporte Público (CTP) (s.f). *Acerca de CTP*. <https://www.ctp.go.cr/acerca>
- Corrales Lenin; Imbach Pablo; Christian Brenes. (noviembre 16, 2022). *Laboratorio de acción climática del CATIE* [Reunión presencial]. Turrialba, Costa Rica.
- De Leo, E., Aranda, D., & Addati, G. A. (2020). *Introducción a la dinámica de sistemas* (Doc. Trab. No. 739). Universidad del CEMA. <https://ucema.edu.ar/publicaciones/download/documentos/739.pdf>
- Decreto Ejecutivo 39173. Reorganización estructural del Proceso de Planificación Sectorial e Institucional del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Diario oficial La Gaceta, 22 de septiembre de 2015.
- Decreto Ejecutivo N° 42465- MOPT-MINAE-MIVAH “Lineamientos generales para la incorporación de las medidas de resiliencia en infraestructura pública”. Diario oficial La Gaceta, 20 de octubre del 2020.
- Dirección General de Aviación Civil (s.f) *Acerca de Dirección General de Aviación Civil*. <https://sub.dgac.go.cr/acerca/acerca-de-dgac/#estructura>
- Dirección General de Aviación Civil (2023). *Plan de Acción Nacional sobre la reducción de emisiones de la aviación costarricense*. <https://www.icao.int/sites/default/files/sp-files/environmental-protection/Documents/ActionPlan/Costa-Rica-Plan-de-Accion-Reduccion-Emisiones-CO-V2-2023.pdf>
- Dirección de Cambio Climático (DCC) (2021). *Bases conceptuales para la adaptación al cambio climático en Costa Rica. Plan A Territorios Resilientes*. Ministerio de Ambiente y Energía. <https://cambioclimatico.minae.go.cr/wp-content/uploads/2021/09/Guia-de-Bases-conceptuales-para-la-adapta-cio%CC%81n-al-cambio-clima%CC%81tico-en-Costa-Rica.pdf>
- Dirección de Cambio Climático (2022). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2022-2026*. https://cambioclimatico.minae.go.cr/wp-content/uploads/2022/04/NAP_Documento-2022-2026_VC.pdf
- Dirección de Cambio Climático (s.f). *Estrategia Nacional de Economía Circular*. <https://cambioclimatico.minae.go.cr/que-es-economia-circular/>
- DW Español (2023). *El transporte marítimo, lejos de los objetivos climáticos*. <https://www.youtube.com/watch?v=GL7CnzeQrx8>
- DW Español (2025). *Por qué el cambio climático amenaza con paralizar las redes ferroviarias*. <https://www.youtube.com/watch?si=-mYmhMcfvHgf1vyg&v=yGrxWpDJeqw&feature=youtu.be>
- Dong, W., Zhou, Y., Guo, D., Chen, Z., & Wang, J. (2025). Evaluation of urban infrastructure resilience based on risk–resilience coupling: A case study of Zhengzhou City. *Land*, 14(3), 530. <https://doi.org/10.3390/land14030530>

- Elassy, M., Al-Hattab, M., Takruri, M., & Badawi, S. (2024). *Intelligent transportation systems for sustainable smart cities*. *Transportation Engineering*, 16, Article 100252. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2024.100252>
- Ekos Construcción (2023) Dubai: la primera ciudad en regular la impresión 3D en el mundo. <https://ekosnegocios.com/articulo/dubai-la-primera-ciudad-en-regular-la-impresion-3d-en-el-mundo>
- ESRI (s.f). *Gemelo Digital*. <https://www.esri.com/en-us/digital-twin/overview>
- Fallas Hazel (2021). *Material de curso: Innovación y desarrollo de negocios*. Maestría Pensamiento Estratégico y Prospectivo. Universidad Nacional de Costa Rica. Período I Trimestre de 202, modalidad online, plataforma Zoom.
- Fernández Marcial, Viviana. (2006). *Gestión del conocimiento versus gestión de la información*. Investigación bibliotecológica, 20(41), 44-62. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-358X2006000200003&lng=es&tlng=es.
https://www.researchgate.net/publication/39342957_Gestion_del_conocimiento_versus_gestion_de_la_informacion/link/57990ad308aed51475e88cfe/download
- Fernández Ministério Fernanda (2025). *Tecnologías emergentes para la mitigación del cambio climático: innovaciones en políticas forestales, reforestación y ecología urbana*. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/79483>
- Función Pública. *Decreto 1292 de 2021*. Publicado 14 de octubre del año 2021. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=172490#35>
- Fundación Conecta Logística. (s.f). *Qué hacemos*. <https://www.conectalogistica.cl/como-trabajamos/>
- Khlystov Nikolai y Rathnasabapathy Minoo (2024) *Tecnologías emergentes. 10 nuevas tendencias tecnológicas transformando la observación de la Tierra y la inteligencia climática*. Foro Económico Mundial. <https://es.weforum.org/stories/2024/09/10-nuevas-tendencias-tecnologicas-transformando-la-observacion-de-la-tierra-y-la-inteligencia-climatica/#:~:text=Las%20tecnolog%C3%ADas%20de%20observaci%C3%B3n%20de,de%20gigabytes%20de%20datos%20acumulados>.
- Foro Económico Mundial (s.f). *Índice de Competitividad Global (ICG) 4.0 2017-2019*. https://data360.worldbank.org/en/dataset/WEF_GCI
- International Telecommunication Union (ITU) (2024). *Indicador: Tráfico de Internet de banda ancha fija, periodo 2010-2024*. https://data360.worldbank.org/en/indicator/ITU_DH_TRAF_FIX_BB
- Gao, X., Ci, Y., Yuen, K. F., Wu, L., & Li, R. (2025). *Hybrid traffic flow prediction model for emergency scenarios with scarce historical data*. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 145, 110219. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0952197625002192>
- Gangwal, U., Siders, A. R., Horney, J., Michael, H. A., & Dong, S. (2022). *Critical facility accessibility and road criticality assessment considering flood-induced partial failure*. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 8(1), 1–19. <https://doi.org/10.1080/23789689.2022.2149184>

- García Arévalo, E., Navarro del Aguila, L. C., Torres Saavedra, D. A., Pinedo Delgado, A., & Torres Bardales, L. V. (2025). Gemelos digitales para la supervisión y el mantenimiento de infraestructuras viales: Revisión sistemática. *Impulso, Revista De Administración*, 5(11), 161-181. <https://doi.org/10.59659/impulso.v.5i11.136>
- García Jaime (2019). *Costa Rica ocupa el puesto 62 según el Informe Global de Competitividad*. INCAE Business School. <https://incae.edu/costa-rica-ocupa-el-puesto-62-segun-el-informe-global-de-competitividad/>
- Godet Michael (1993). De la anticipación a la acción. Manual de prospectiva y estrategia. <https://administracion.uexternado.edu.co/matdi/clap/De%20la%20anticipaci%C3%B3n%20a%20la%20acci%C3%B3n.pdf>
- Godet Michael (2000). *La Caja De Herramientas de la Prospectiva Estratégica, Problemas y métodos*. Cuarta Edición. <http://es.lapropective.fr/dyn/espagnol/bo-lips-esp.pdf>
- González Herrera Roger (2019). *Drones. Aplicaciones en Ingeniería Civil y Geociencias*. Interciencia, vol. 44, núm. 6, pp. 326-331. <https://www.redalyc.org/journal/339/33960068003/html/>
- González, M. R. (2004). *Gestión del conocimiento en ámbitos empresariales: " modelo integrado-situacional" desde una perspectiva social y tecnológica* (Doctoral dissertation, Universidad Pontificia de Salamanca).
- González, M. E. (2022). *Gestión del conocimiento e innovación en tiempos complejos*. In II CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN EDUCACIÓN (p. 85). https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Campino-Rojas-2/publication/360352872_memorias_congreso_3/links/6271e07cb1ad9f66c89eabd9/memorias-congreso-3.pdf#page=85
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2021). *Bases físicas. Resumen para responsables de políticas*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf
- Hisseine, O. A., Soliman, N. A., Tolnai, B., & Tagnit-Hamou, A. (2020). Nano-engineered ultra-high performance concrete for controlled autogenous shrinkage using nanocellulose. *Cement and Concrete Research*, 137, 106217. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884620307262>
- Hernández Romero Alexandra (2020). *La Gestión del Conocimiento y la Gestión Tecnológica como herramienta en las Organizaciones*. Especialización en Alta Gerencia, Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36605/HERNANDEZROME ROALEXANDRA2020.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (2023). Plan Estratégico Institucional 2023-2028. <https://incop.go.cr/estrategia-institucional/>
- Instituto Costarricense de Ferrocarriles (INCOFER)(2025). Plan Estratégico Institucional 2025-2029. <https://www.incofer.go.cr/transparencia-institucional/plan-estrategico-institucional/>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN)(2022). *Metodología de Evaluación del riesgo climático para infraestructura MERCI-CR*. <http://cglobal.imn.ac.cr/wp-content/uploads/2024/02/MERCI-CR-v01.pdf>

- Instituto Meteorológico Nacional (IMN)(2024). *Estudios y proyecciones de aumento en el nivel del mar y erosión costera para las dos costas de Costa Rica*. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/estudios-y-proyecciones-de-aumento-en-el-nivel-del-mar-y-erosion-costera-para-las-dos-costas-de-costa-rica/>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN)(2024) *Guía metodológica para la integración del análisis del riesgo en los proyectos de infraestructura pública vial*. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/guia-metodologica-para-la-integracion-del-analisis-del-riesgo-en-los-proyectos-de-infraestructura-publica-vial/>
- Ingeniería Marítima de Ríos y Estuarios (s.f). IMARES. Recuperado de <https://imares.ucr.ac.cr/>
- Instituto Mexicano del Transporte. (s.f). *Centros de innovación y equipos especializados*. Gob.mx. <https://www.gob.mx/imt/documentos/centros-de-innovacion-y-equipos-especializados?idiom=es>
- IBM (s.f) *¿Qué es el Lidar?* <https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/lidar#:~:text=El%20LiDAR%20batim%C3%A9trico%20utiliza%20luz,de%20las%20zonas%20de%20inundaci%C3%B3n.>
- Ingeniería Civil (2023). *Inteligencia Artificial: una forma más Inteligente de construir*. <https://www.youtube.com/watch?v=enV9MhNYMB8>
- IEBS Business School. (s.f) *¿Qué es la innovación? Ejemplos y tipos: radical, incremental y radical*. <https://www.iebschool.com/hub/que-es-innovacion-innovacion/>
- Junta Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA) (2023) *Plan Estratégico Institucional 2022-2027*. <https://www.japdeva.go.cr/transparencia/planificacion%20estrategica/Plan%20estrategico%20JAPDEVA%202023-2027.pdf>
- Jiménez Javier (s.f). *Producto 1: Documento analítico sobre las herramientas informáticas de resiliencia disponibles globalmente y que, por sus características de diseño e interoperabilidad, sean aplicables al Proyecto IPRRDASICC*. Consultoría: Análisis de oferta, demanda y brechas de información geoespacial para la inversión pública en los países COSEFIN/SICA. Sistema de Integración Centroamericana (SICA)
- Ji Yinghua y Zheng Hao (2025). *Configuration of public transportation stations in Hong Kong based on population density prediction by machine learning*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 136, 104339. https://www.researchgate.net/publication/387974923_Configuration_of_public_transportation_stations_in_Hong_Kong_based_on_population_density_prediction_by_machine_learning
- Konečný, V., Zuzaniak, M., & Jonasíková, D. (2025). Greenhouse gas emissions from road transport and their economic value in the assessment of transport projects using a cost–benefit analysis: Approaches implemented in the Slovak Republic and selected Central European countries. *Applied Sciences*, 15(3), 1283. <https://doi.org/10.3390/app15031283>
- Kainthola, A., Sharma, V., Pandey, V. H. R., Jayal, T., Singh, M., Srivastav, A., ... & Singh, T. N. (2021). Hill slope stability examination along lower tons valley, Garhwal Himalayas, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 900-921. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2021.1906758>

- Lopez Trujillo, L., López Trujillo, P., & López Trujillo, F. (2020). Modelo de Gestión del Conocimiento para la Innovación. *Administración Y Organizaciones*, 23(45), 69–83. <https://doi.org/10.24275/uam/xoc/dcsh/rayo/2020v23n45/Lopez>
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR) (s.f). Programa de Ingeniería de Transporte -Pitra-. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/pitra>
- Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria. *Laboratorio de Observación del Sistema Climático (LOSIC)*. <https://atmos.fisica.ucr.ac.cr/node/2>
- Lee, S., & Joo, H. (2025). *Passenger and freight travel patterns: A cluster analysis based on urban networks*. *PLoS one*, 20(3), e0318084. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0318084>
- Ientile, S., Bianne, G., Chevalier, C., Schmidt, F., Rasol, M., Orcesi, A., Adelaide, L., & Nedjar, B. (2022). Measuring road network resilience through loss of serviceability index for critical road links. *Proceedings of the ICE - Bridge Engineering*, 175(3), 98–107. <https://doi.org/10.1680/jbren.21.00098>
- Ley Crea el Ministerio de Transportes en sustitución del actual Ministerio de Obras Públicas N°3155. Publicación el 05/08/1963 http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=31734&nValor3=0&strTipM=FN
- Ley de Administración Vial N° 6324. Publicada Gaceta N° 97 del 24/05/1979. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=36807&nValor3=115813¶m2=1&strTipM=TC&lResultado=4&strSim=simp
- Ley de Creación del Consejo de Vialidad (CONAVI) N°7798. Publicación Gaceta 103 del: 29/05/1998. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=44660
- Ley General de Concesión de Obras Públicas con Servicios Públicos (CNC) N°7762. Publicación, Gaceta 92 del: 22/05/1998. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=30464&nValor3=117575¶m2=1&strTipM=TC&lResultado=2&strSim=simp
- Ley General de Aviación Civil N°5150. Publicada el 14/05/1973. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=13332&nValor3=0&strTipM=TC
- Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488. Diario Oficial La Gaceta N °8, del 11/01/2006. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=56178
- Ley Orgánica de JAPDEVA (Junta Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica) N°3091. Publicada el 18 de febrero de 1963. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=38622

- Ley Reforma Ley Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (INCOP) N°4964. Publicada el 21/03/1972. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=2935&nValor3=3109&strTipM=TC
- Ley Reguladora del Servicio Público de Transporte Remunerado de Personas (CTP) N° 7969. Publicación N° Gaceta: 20 del: 28/01/2000. https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=41856&nValor3=145753&strTipM=FN
- Lebrato, L. T. (2015). *La gestión de información y la gestión del conocimiento*. Revista Archivo Médico de Camagüey, 19(2), 96-98. <https://www.medigraphic.com/pdfs/medicocamaguey/amc-2015/amc152b.pdf>
- Ma, C., Hao, W., Wang, A., & Zhao, H. (2018). Developing a coordinated signal control system for urban ring road under the vehicle-infrastructure connected environment. *IEEE Access*, 6, 52471–52478. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2869890>
- Mattinzioli, T., Sol-Sánchez, M., Martínez, G., & Rubio-Gámez, M. (2020). A critical review of roadway sustainable rating systems. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102447. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720306673>
- Martínez, C. M., Hu, X., Cao, D., Velenis, E., Gao, B., & Wellers, M. (2017). *Energy management in plug-in hybrid electric vehicles: Recent progress and a connected vehicles perspective*. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(6), 4534–4549. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2582721>
- Mera Rodríguez, C. (2014). *Pensamiento prospectivo: visión sistémica de la construcción del futuro*. Análisis. Revista Colombiana de Humanidades, 46(84), 89-104. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=515551535005>
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAE)(2012). *Costa Rica Evaluación de Necesidades Tecnológicas ante el Cambio Climático (Technology Needs Assessment)*. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/02/Evaluacion-Necesidades-Tecnologicas-ante-Cmabi-Climatico.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)(2019). Plan Nacional de Descarbonización. <https://cambioclimatico.minae.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PLAN-NACIONAL-DESCARBONIZACION.pdf>
- Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (Minciencias) (2021) *Ciencia Abierta Antecedentes y Diagnóstico*. https://redcol.minciencias.gov.co/themes/redcol/images/files/22012022_CIENCIA_ABIERTA_ANTECEDENTES.pdf
- Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (Minciencias) (2022). *Resolución 0777 del 2022 Por la cual se adopta la Política Nacional de Ciencia Abierta 2022-2031 del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación*. https://minciencias.gov.co/pdf/pdfreader?url=https://minciencias.gov.co/sites/default/files/politica_nacional_de_ciencia_abierta_-2022_-_version_aprobada.pdf
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2020). Plan Estratégico Institucional 2020-2025. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (s. f.). *¿Qué es el OTLE?* <https://otle.transportes.gob.es/que-es-el-otle>

- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2024). *Anuario estadístico del Sector Obras Públicas y Transportes 2023*. Secretaría de Planificación Sectorial. San José, Costa Rica. <https://repositorio.mopt.go.cr/server/api/core/bitstreams/0ed8bf22-b5fe-4817-a0c7-b88e685f51c1/content>
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (s.f). *Dirección de Atención de Emergencias y Desastres*. <https://www.mopt.go.cr/elmopt/organigrama/emergencias-desastres>
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (s.f). *Dirección de Ingeniería (División de Obras Públicas) (DI)*. <https://www.mopt.go.cr/elmopt/organigrama/ingenieria-op>
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (s.f). *División Marino-Portuaria (DMP)*. <https://www.mopt.go.cr/elmopt/organigrama/maritimo-portuaria>
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (s.f). *Dirección de Navegación y Seguridad (DNS)*. <https://www.mopt.go.cr/elmopt/organigrama/navegacion-seguridad>
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (s.f). *División de Obras Públicas (DOP)*. <https://www.mopt.go.cr/elmopt/organigrama/obras-publicas>
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (s.f). *Dirección de Obras Fluviales (DOF)*. <https://www.mopt.go.cr/elmopt/organigrama/obras-fluviales>
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (s.f). *Dirección de Puentes (DP)*. <https://www.mopt.go.cr/elmopt/organigrama/puentes>
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (s.f). *Direcciones Regionales (DR)*. <https://www.mopt.go.cr/elmopt/organigrama/regionales-op>
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte (s.f). *Organigrama*. <https://www.mopt.go.cr/elmopt/organigrama>
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2022). *Plan de Adaptación al Cambio Climático de los Servicios de Infraestructura y Transporte 2022-2031*. San José Costa Rica.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2023). *Plan Estratégico Sectorial 2019-2024 Infraestructura y Transporte*. Secretaría de Planificación Sectorial. San José Costa Rica
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes (2023). *Protocolo Institucional: Vigilancia y Control de la Red Vial Nacional (RVN) ante Sucesos y Emergencias Naturales*. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Planificación y Política Económica (MIDEPLAN)(2019). *Costa Rica impacto de los fenómenos naturales para el período 1988-2018, por sectores, provincias, cantones y distritos: compendio / Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, Ministerio de Agricultura y Ganadería. Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria*. https://documentos.mideplan.go.cr/share/s/MQOaFN8jQTGMfuNRKR_IOq
- Ministerio de Planificación y Política Económica (2024). *Costa Rica experimentó una reducción en cooperación internacional en el último año*. <https://www.mideplan.go.cr/costa-rica-experimento-una-reduccion-en-cooperacion-internacional-en-el-ultimo-ano>

- Ministerio de Planificación y Política Económica (2024). Sistema de Gestión de Proyectos de Cooperación Internacional- módulo proyectos. <https://sigeci.mideplan.go.cr/sigeci/busqueda/default.aspx>
- Montoya-Quintero, D. M., García-Marín, J., & Moreno, S. J. (2022). Modelo conceptual de gestión del conocimiento basado en el relacionamiento de Normas ISO. *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, 59-69. https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/modelo_conceptual_de_gestion_del_conocimiento_basado_en_el_relacionamiento_de_normas_iso
- Módulo de Información Oceanográfica (MIO)(s.f) *MIO*. <https://miocimar.ucr.ac.cr/sobre-el-mio>
- Montes, P., & Piñeiro, A. (2020). *Infraestructura resiliente* (Índice de Competitividad Urbana 2020, capítulo IV). Instituto Mexicano para la Competitividad, A.C. (IMCO). https://imco.org.mx/pub_indices/wp-content/uploads/2020/11/INFRAESTRUCTURA-RESILIENTE.pdf
- Mora Juan Carlos (2022). *Material de curso: Metodología Estudios de Futuro*. Maestría Pensamiento Estratégico y Prospectivo. Universidad Nacional de Costa Rica. Período I Trimestre de 2022, modalidad online, plataforma Zoom.
- Mojica, F. J. (2006). *Concepto y aplicación de la prospectiva estratégica*. *Revista Med*, 14(1), 122-131. <https://www.redalyc.org/pdf/910/91014117.pdf>
- Mojica, F. J. (2010). Introducción a la prospectiva estratégica para la competitividad empresarial. Centro de Pensamiento Estratégico y Prospectivo. Universidad del Externado de Colombia. <https://www.calameo.com/read/0028220599ffaede41dcb>
- Muñoz Diego (2019). *Los SIG y la Inteligencia Artificial (IA)*. <https://www.youtube.com/watch?v=Tk7DYhIqQ9k>
- Nair-Bedouelle Shamila (2023). ¿Qué es la ciencia abierta y cómo puede beneficiar a la humanidad? World Economic Forum <https://es.weforum.org/stories/2023/02/que-es-la-ciencia-abierta-y-por-que-la-necesitamos-para-que-todos-disfruten-de-sus-beneficios/>
- Oficina Española de Cambio Climático & Fundación Biodiversidad. (s. f.). ¿Qué es AdapteCCa?. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.adaptecca.es/que-es-adaptecca>
- OpenAI. (2025). ChatGPT [Mapa conceptual organismos de la ONU]. <https://chat.openai.com/chat>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2016). *Perspectivas de la OCDE en Ciencia, Tecnología e Innovación en América Latina 2016* (Extractos). https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2016/12/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_g1q6dae9/9789264303546-es.pdf
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2010). *La Estrategia de Innovación de la OCDE. EMPEZAR HOY EL MAÑANA*. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2010/05/the-oecd-innovation-strategy_g1ghcb7c/9789264080836-es.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (s.f). *Acuerdo de París*. <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>

- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*. https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) (s.f). *Transformación Digital*. <https://www.unido.org/topics/digital-transformation>
- ONU-Spider (s.f). *Aplicación de Datos del Mes: Cubos de Datos de Observación de la Tierra*. <https://www.un-spider.org/es/links-and-resources/daotm-data-cubes>
- Orozco Ricardo y Brenes Alice (2022). *Gestión del Riesgo en Costa Rica: desafíos e impactos para el desarrollo humano sostenible*. San José, C.R. : CONARE - PEN, 2022. <https://repositorio.conare.ac.cr/server/api/core/bitstreams/75d6a3e4-7217-4bb6-b8c2-448b9af2c7c8/content>
- Paniagua Arís E & López Ayuso Belén (2007). *La Gestión tecnológica del conocimiento*. Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones. Primera edición. https://www.researchgate.net/publication/238794222_La_Gestion_Tecnologica_del_Conocimiento/link/54e71b590cf277664ff793be/download
- Revista Pensis. *Sobre el CIVCO*. II Edición. <https://www.tec.ac.cr/pensis/articulos/civco>
- Peralta Martínez C (2009). *Etnografía y métodos etnográficos*. *Revista Análisis*, 74, 33-52. <https://www.redalyc.org/pdf/5155/515551760003.pdf>
- Pérez José Trinidad (2021). *El impacto de la microbiología y nanotecnología en el sector transporte*. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación bimestral de divulgación externa. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=528&IdBoletin=189>
- PierNext (2022). *Las nuevas leyes de la robótica llegan a la logística portuaria*. Port de Barcelona. <https://piernext.portdebarcelona.cat/about/>
- PierNext. (s. f.). *¿Quiénes somos?* Port de Barcelona. <https://piernext.portdebarcelona.cat/about>
- PRIAS (s.f). *Acerca de nosotros*. <https://prias.cenat.ac.cr/es/>
- PNUD (2019). *Una llamada a la acción: Aumentar la capacidad de adaptación y resiliencia al cambio climático*. Climate Change Adaptation. https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/uploaded-images/call_for_action_on_adaptation_and_resilience_v_18_august_2021.pdf
- Programa EUROCLIMA (2024). *Visor de escenarios de cambio climático Centroamérica* <https://srt.snet.gob.sv/escenarios/cmip5.html>
- Programa de Emergencia para la Reconstrucción Integral y Resiliente de Infraestructura (PROERI) (s.f). <https://e-proeri.org/#/>
- Programa del Estado de la Nación (PEN) (s.f). *Descripción de Costa Rica*. <https://estadisticas.estadonacion.or.cr/historia/8cf2c7e1-c9e7-42f0-920b-42d3f8c970f4>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2025) *¿Qué es la transición hacia una energía sostenible y por qué es clave para combatir el cambio climático?*

<https://climatepromise.undp.org/es/news-and-stories/que-es-la-transicion-hacia-una-energia-sostenible-y-por-que-es-clave-para-combatir>

- Pupo R, Gonzalez Q. (2023) *Policy Paper N°27: Transición energética y descarbonización en América Latina y el Caribe en industrias de alto consumo energético*. CAF- banco de desarrollo de América Latina y el Caribe. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2268>
- Red de Ciencia Abierta y Colaborativa para el Desarrollo (OCSDNet) (2015) Manifiesto de ciencia abierta y colaborativa. Hacia una Ciencia Abierta inclusiva por el bienestar social y ambiental. <https://ocsdnet.org/wp-content/uploads/2015/04/Manifiesto-Infographic-Spanish-1.pdf>
- Red Colombiana de Información Científica (La Red)(s.f). Quiénes somos. https://redcol.minciencias.gov.co/Content/Quienes_somos
- Rezvani, S. M. H. S., Silva, M. J. F., & Almeida, N. M. d. (2024). Mapping geospatial AI flood risk in national road networks. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(9), 323. <https://doi.org/10.3390/ijgi13090323>
- Revista CFIA. (17 de diciembre de 2024). *Nuevo Código de Cambio Climático*. <https://revista.cfia.or.cr/nuevo-codigo-de-cambio-climatico/>
- Salehi & Burgueño (2018). Emerging artificial intelligence methods in structural engineering. https://www.researchgate.net/publication/325626988_Emerging_artificial_intelligence_methods_in_structural_engineering
- Santos, G., Santos, L., Costa, R. L. de C., & Rabadão, C. (2023). *Intelligent Transportation Systems security and privacy*. En *Information Security and Privacy in Smart Devices* (pp. 122–141). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-5991-1.ch005>
- Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo (CORDIS)(2007). La OCDE publica directrices para el acceso a datos de investigación. <https://cordis.europa.eu/article/id/27620-ocde-publishes-guidelines-on-research-data-access/es>
- Schweikert, A., Espinet, X., Goldstein, S., & Chinowsky, P. (2015). Resilience versus Risk: Assessing Cost of Climate Change Adaptation to California's Transportation System and the City of Sacramento, California. *Transportation Research Record*, 2532(1), 13-20. <https://doi.org/10.3141/2532-02>
- Sheng, W., Li, Y., Chong, D., Zhao, K., & Wang, Y. (2025). Integrated environmental, economic, and performance assessments of cold recycling technologies for asphalt pavements. *Resources, Conservation and Recycling*, 220, 108335. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344925002149>
- Sinha, K. C., Labi, S., & Agbelie, B. R. D. K. (2017). *Transportation infrastructure asset management in the new millennium: Continuing issues, and emerging challenges and opportunities*. *Transportmetrica A: Transport Science*, 13(7), 591–606. <https://doi.org/10.1080/23249935.2017.1308977>
- Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA) (s.f). Quiénes somos. https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/nosotros#quienes_somos
- Sistema Nacional de Monitoreo de Tsunamis (SINAMOT)(s.f). *Al Servicio de Costa Rica*. <https://www.sinamot.una.ac.cr/index.php/al-servicio-de-costa-rica>

- Singh, G., Bansal, D., Sofat, S., & Aggarwal, N. (2017). *Smart patrolling: An efficient road surface monitoring using smartphone sensors and crowdsourcing*. *Pervasive and Mobile Computing*, 40, 71–88. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2017.06.002>
- Srinivasan Sharada, Comini Niccolò, Koltsov Mykhailo, Gelvanovska-Garcia Natalija. (2022) *Acceso y Uso de Internet en América Latina y El Caribe. Resultados de las Encuestas Telefónicas de Alta Frecuencia de AIC 2021*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-09/undp-brlac-Digital-ES.pdf>
- Superintendencia General de Seguros (SUGESE) (s.f). *El Proceso Interno de País del Global Shield, financiamiento y seguros para enfrentar el riesgo climático y de desastres en Costa Rica*. https://www.sugese.fi.cr/seccion-publicaciones/DocsInteres/Final_Informe-Analisis-de-Brechas-Costa-Rica_042025.pdf
- The Millennium Project (2025) *Desafío Global 1. ¿Cómo se puede lograr el desarrollo sostenible para todos y al mismo tiempo abordar el cambio climático global?* <https://millennium-project.org/challenges-overview/global-challenge-1/#1716123620746-022a895d-cf5c>
- The Millennium Project (2025) *Desafío Global 6. ¿Cómo pueden las tecnologías de la información y las comunicaciones, la inteligencia artificial, el big data y la computación en la nube funcionar para todos?* <https://millennium-project.org/challenges-overview/global-challenge-6/#1716123620746-022a895d-cf5c>
- Toole, J. L., Colak, S., Sturt, B., Alexander, L. P., Evsukoff, A., & González, M. C. (2015). The path most traveled: Travel demand estimation using big data resources. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 58, 162-177. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0968090X15001631>
- Thomas, J., Rohith, A. N., Sebastian, D. E., Nizar, S., Jainet, P. J., Vema, V. K., & Sudheer, K. P. (2025). Climate warming modifies hydrological responses in the southern Western Ghats and the western coastal plains (India): Insights from CMIP6-VIC simulations. *Journal of Environmental Management*, 381, 125252. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479725012289>
- Tribunal Administrativo de Transporte (s.f). *Quiénes somos*. <https://tat.mopt.go.cr/tribunal/quienes-somos/>
- Universidad Nacional de Costa Rica (s.f). *Gestión Académica (PPAA). Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD)*. <https://www.extension.una.ac.cr/index.php/areas/m-gestion-academica-ppaa/m-gestion-riesgo>
- Un Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) (2023). *El cambio climático está perturbando el transporte aéreo*. <https://www.preventionweb.net/es/news/el-cambio-climatico-esta-perturbando-el-transporte-aereo>
- Vargas Ulate Gilbertherth (2002). La tropicalidad y el análisis geográfico. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4796465.pdf>
- Vega Hernández Angélica (2019). *Voz experta: Los desafíos de la innovación en el sector público costarricense*. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/9/19/voz-experta-los-desafios-de-la-innovacion-en-el-sector-publico-costarricense.html>

- Villalta Carlos (2020). Análisis de diferentes tópicos en materia de infraestructura vial y sugerencias para definir un Plan Vial a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. <https://cfia.or.cr/site/wp-content/uploads/2024/pdf/descargas/informes/grupo-consenso-para-la-red-vial-nacional-lineamientos-para-definir-el-plan-vial-nacional-de-costa-rica-informe-completo.pdf>
- Vu, T. T., & Ranzi, R. (2017). Flood risk assessment and coping capacity of floods in central Vietnam. *Journal of Hydro-environment Research*, 14, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2016.06.001>
- Weikert Bicalho, F. (2021). *Infraestructura resiliente: un imperativo para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46646/1/S2000675_es.pdf
- World Intellectual Property Organization (WIPO)(2022). *Indicadores mundiales de propiedad intelectual 2023*. <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-941-2023-en-world-intellectual-property-indicators-2023.pdf>
- World Intellectual Property Organization (WIPO)(2024). Mapping Innovations Patents and the Sustainable Development Goals. <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-rn2024-18-en-mapping-innovations.pdf>
- Wynand JvdM Steyn (2011). Aplicaciones de la nanotecnología en la ingeniería de pavimentos de carreteras. https://www.researchgate.net/publication/260598595_Applications_of_Nanotechnology_in_Road_Pavement_Engineering
- United Nations Development Programme (UNPD) (2019). *Coalition for Climate Resilient Investment (CCRI)* https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/uploaded-images/coalition_for_climate_resilient_investment_cas_launch_.pdf
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) (s. f.). *Infraestructura resiliente*. UNDRR. <https://www.undrr.org/es/resilient-infrastructure>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (UNDRR). (2021). *Principios para una infraestructura resiliente* [PDF]. UNDRR. <https://www.undrr.org/media/78700/download>
- Vicerrectoría de Extensión. (s. f.). *Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD)*. Universidad Nacional de Costa Rica. <https://www.extension.una.ac.cr/index.php/areas/m-gestion-academica-ppaa/m-gestion-riesgo>
- Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Costa Rica. (s. f.). *Unidades de investigación*. https://vinv.ucr.ac.cr/es/unidades-de-investigacion?keys=&field_tipo_de_centro_tid=2831
- Wendler-Bosco, V., & Nicholson, C. (2019). *Port disruption impact on the maritime supply chain: A literature review*. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 5(6), 378–394. <https://doi.org/10.1080/23789689.2019.1600961>
- Xiuming Li; Renguang Wu; Xiaojing Jia; Wen-Jun Zhang. (2025). Formation of marine heatwaves in the East China Sea in El Niño and La Niña winters. *Climate Dynamics*, 63(6), 1283–1302. <https://doi.org/10.1007/s00382-025-07744-2>
- Yang, Y., Liu, H., Mostafavi, A., & Tatano, H. (2025). *Review on modeling the societal impact of infrastructure disruptions due to disasters*. *Reliability Engineering & System Safety*, 110879. <https://arxiv.org/pdf/2405.12732>

- Yousefi Hossein, Ardehali Armin, Ghodusinejad Hasan Mohammad (2023). *BRICS or G7? Current and future assessment of energy and environment performance using multi-criteria and time series analyzes*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X23001141>
- Zinno, R., Haghshenas, S. S., Guido, G., & Vitale, A. (2022). *Artificial intelligence and structural health monitoring of bridges: A review of the state-of-the-art*. *IEEE Access*, 10, 88058–88078. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3199443>
- Zhou, Y., Wang, J., & Yang, H. (2019). *Resilience of transportation systems: Concepts and comprehensive review*. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(12), 4262–4276. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2883766>
- Zubizarreta Gisasola, N. (2018). LiDAR: introducción a la tecnología. *Mapping* (1131-9100), 27(192). <https://ojs.revistamapping.com/MAPPING/article/download/131/22/239>

Anexos

Número 1. Legislación, manuales y guías

Legislación Nacional relacionada a obra pública en el Sector

Legislación Nacional	Sitio web de consulta
Ley N° 5060- Ley General de Caminos Públicos (1972)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=38653
Ley N°6043 Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre (1977)	https://pgrweb.go.cr/scij/busqueda/normativa/normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=32006
Ley N° 6227 - Ley General de la Administración Pública (1978)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=13231
Ley Orgánica del Ambiente (Ley N° 7554) (1995)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=27738
Ley N° 7494 - Ley de Contratación Administrativa (1996)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=24284
Ley N° 7744 Ley de Concesión y Operación de marinas y atracaderos turísticos y sus reformas (1997)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=43078
Ley N° 7762 - Ley General de Concesiones de Obra Pública (1998)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=30464&nValor3=75110&strTipM=TC
Manual Técnico para el Desarrollo de Proyectos de Obra Pública de la Contraloría General de la República (1998)	https://cgrfiles.cgr.go.cr/publico/docsweb/documentos/obra-publica/manual-tecnico-obra-publica.pdf
Decreto Ejecutivo 27098 Reglamento General Concesión de Obras Públicas con Servicios Públicos (1998)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=28675&nValor3=96844&strTipM=TC
Decreto Ejecutivo: 37070. Código Sísmico de Costa Rica 2002 (2003)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=52206
Decreto Ejecutivo 313836 Reglamento de los Proyectos de Iniciativa Privada de Concesión de Obra Pública o de Concesión de Obra Pública con Servicio Público (2004)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=53083
Ley 8643 Modificación parcial de la Ley General de Concesión de Obras Públicas con Servicios Públicos, N° 7762 (2008)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=63568&nValor3=73119&strTipM=FN
Ley N° 9286 Reforma Integral de la Ley No. 7495, Ley de Expropiaciones (2014)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=78853
Ley N° 9422 Autorización para el Desarrollo de Infraestructura del Transporte mediante Fideicomiso (2017)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84150&nValor3=108432&strTipM=TC
Ley N° 9986 General de Contratación Pública (2021)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=94469
Decreto Ejecutivo: 43808 Reglamento a la Ley General de Contratación Pública (2022)	https://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=98344

Manuales

Manuales para obra pública de Transportes	Sitio Web de consulta
Decreto No. 39429-MOPT Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos, Carreteras y Puentes de Costa Rica, MCV-2015 (2015) y actualización Decreto No.42299-MOPT (2020)	https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/planificacion-sectorial/normativa/manuales/cr-2020/mcv-2015.pdf
Decreto No. 40333-MOPT Manual de Auscultación Visual de Pavimentos de Costa Rica, MAV-2016	Guía para profesionales: https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/planificacion-sectorial/normativa/manuales/cr-2020/mav-2016-profesionales.pdf Guía para Técnicos https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/planificacion-sectorial/normativa/manuales/cr-2020/mav-2016-tecnicos.pdf
Decreto No. 43397-MOPT. Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica, CR-2020 (2022)	https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/planificacion-sectorial/normativa/manuales/cr-2020/cr-2020.pdf
Decreto No. 44762-MOPT Guía para el diseño estructural de pavimentos flexibles y rígidos calibrada para Costa Rica, GDP-2024	Tomo I https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/planificacion-sectorial/normativa/manuales/cr-2020/2025/gdp-2024-tomo-i.pdf Tomo II https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/planificacion-sectorial/normativa/manuales/cr-2020/2025/gdp-2024-tomo-ii.pdf
Decreto No. 44808-MOPT Manual de Puentes de Costa Rica, MP-2024	https://www.mopt.go.cr/sites/default/files/destacados/planificacion-sectorial/normativa/manuales/cr-2020/2025/mp2024-tomo-i.pdf

Guías metodológicas y de procedimientos en materia de formulación y evaluación de las iniciativas de inversión- Mideplan. <https://www.mideplan.go.cr/normas-tecnicas-lineamientos-procedimientos-inversion-publica>

Guías y Lineamientos

Guía Metodológica General para la Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública - Etapa de Perfil del Proyecto (2024)
Guía Metodológica General para la Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública - Etapa de Prefactibilidad del Proyecto (2024)
Guía Metodológica General para la Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Pública - Etapa de Factibilidad del Proyecto (2024)
Guía de priorización para proyectos de inversión pública con criterios de sostenibilidad y descarbonización (2023)
Guía de aplicación de la Matriz General de Riesgos (2022)
Metodología para el análisis de riesgos con enfoque multiamenaza y criterios probabilísticos en los proyectos de inversión pública (2021)
Lineamiento Metodológico para optar por la modalidad de Contratación de Asociaciones Público Privadas (2024)
Lineamiento metodológico para la implementación del análisis multicriterio en la priorización de proyectos de inversión pública de las entidades del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) (2024)

Número 2. FODAS de las instituciones del Sector

FODA del MOPT

<p>FORTALEZAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Plataforma tecnológica instalada. 2. Contar con una dependencia para el tema de capacitaciones. 3. Se cuenta con planes de largo plazo (PNT - PES). 4. Capital humano con conocimiento en algunas áreas. 5. Experiencia en gestión de proyectos de infraestructura. 6. Cobertura e incidencia a nivel nacional. 7. Estabilidad laboral. 8. Personal con múltiples especialidades. 9. Ente rector en infraestructura y transportes. 10. Capacidad para crear decretos que fortalezcan la gestión interna. 11. Se cuenta con activos (maquinaria y equipo básico) que ayudan a fines institucionales. 12. Facilidad para realizar proyectos mediante alianzas o convenios interinstitucionales. 13. Se cuenta con plantas de asfalto instaladas y funcionando. 14. Se cuenta con un mapeo de procesos del MOPT (desactualizado). 15. Implementación de trámites digitales (en línea). 16. Experiencia en el desarrollo de las competencias institucionales. 17. Procesos establecidos de control interno y gestión de la calidad. 18. Plataforma de servicios y trámites digitalizados. 19. Se cuenta con una Comisión de Gestión Ambiental Institucional. 20. Atención primaria de emergencias en la RVN. 	<p>OPORTUNIDADES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Explotación de fuentes de materiales para generación de insumos y atención de red vial nacional sin necesidad de mecanismo de contratación a privados. 2. Posibilidad de establecer alianzas o convenios con otros entes nacionales e internacionales. 3. Aplicación de avances tecnológicos en nuestras obras y servicios. 4. Vinculación de plan- presupuesto a través de nuevo sistema de información (mejoras). 5. Políticas de desarrollo a nivel internacional (Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS). 6. Posibilidad de concesionar proyectos y edificios.
<p>DEBILIDADES</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El MOPT posee una estructura piramidal, de tipo burocrática que dificulta un accionar por procesos. 2. Deficiente gestión en sus proyectos (diversa índole). 3. No existe un instrumento metodológico para priorizar los proyectos. 4. Gestión interna debilitada por exceso de trámites. 5. No existe uniformidad para la identificación de prioridades institucionales. 6. Débil fiscalización de las obras desarrolladas. 7. Inadecuada distribución de recursos. 8. Carencia de un proceso de gestión ambiental institucional. 9. Deficiente ejecución presupuestaria. 10. Carencia de planificación estratégica. 11. Falta de decisión y coordinación a nivel superior. 12. Ausente planificación en recursos humanos. 13. Fortalecer la rectoría que ejerce el ministro. 14. Implementación de un Sistema de Gestión de la Calidad en el MOPT. 	<p>AMENAZAS</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Presupuesto restringido y en disminución. 2. Reformas Legales y decretos. 3. Crisis Económica actual limita el acceso a créditos de parte de entes financiadores. 4. Pérdida de credibilidad en el MOPT, debido a casos de corrupción. 5. Desastres naturales en aumento que afecten la infraestructura del transporte. 6. Disminución en la calificación del riesgo del país por parte entidades financieras internacionales. 7. Injerencia política. 8. Rotación de ministros. 9. Plazas congeladas según lineamientos STAP que imposibilita crear nuevas y cubrir plazas vacantes.

Fuente: Elaboración propia, con base en los datos obtenidos en los talleres estratégicos de consulta.

Fuente: PEI 2020-2025

FODA Cosevi



Fuente: Equipo PEI, 2022.

FODA CTP, 2025



Fortalezas

- El marco jurídico respalda el accionar institucional
- Experiencia y lecciones aprendidas en proyectos
- Contar con un Órgano Fiscalizador con independencia
- Ingresos específicos
- Posibilidad para generar convenios de cooperación

Oportunidades

- Ante la situación fiscal del país la figura de la concesión es una gran alternativa para incrementar la inversión en infraestructura
- A nivel político y del sector privado el CNC y la figura de la concesión son considerados como promotores del desarrollo económico del país
- Apoyo político para el fortalecimiento del CNC y la figura de la concesión
- Experiencia y lecciones aprendidas (positivas y negativas) en proyectos de concesión a nivel internacional
- Colaboración de agencias multilaterales

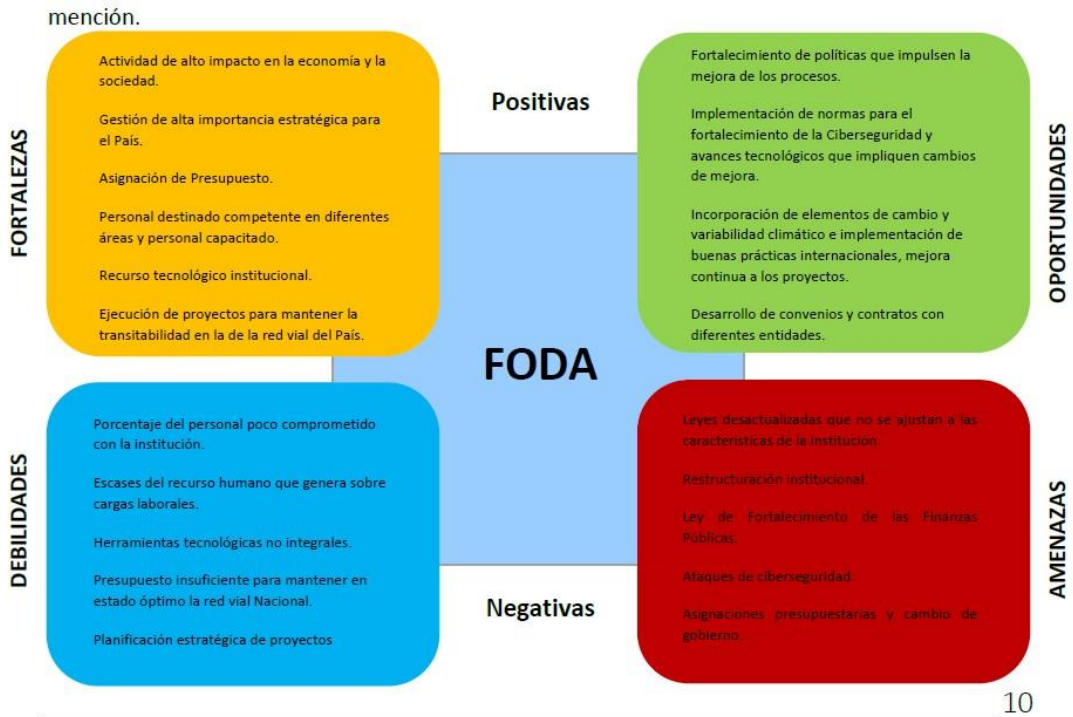
Debilidades

- Ausencia de un reglamento de organización y funciones
- Ausencia de un sistema de gestión por procesos
- Ausencia del Sistema de Control Interno y SEVRI
- Inadecuado tratamiento documental de la información
- Falta de sentido de pertenencia del personal hacia la institución
- Poco personal especializado en las áreas sustantivas
- Deficiente comunicación interna y externa

Amenazas

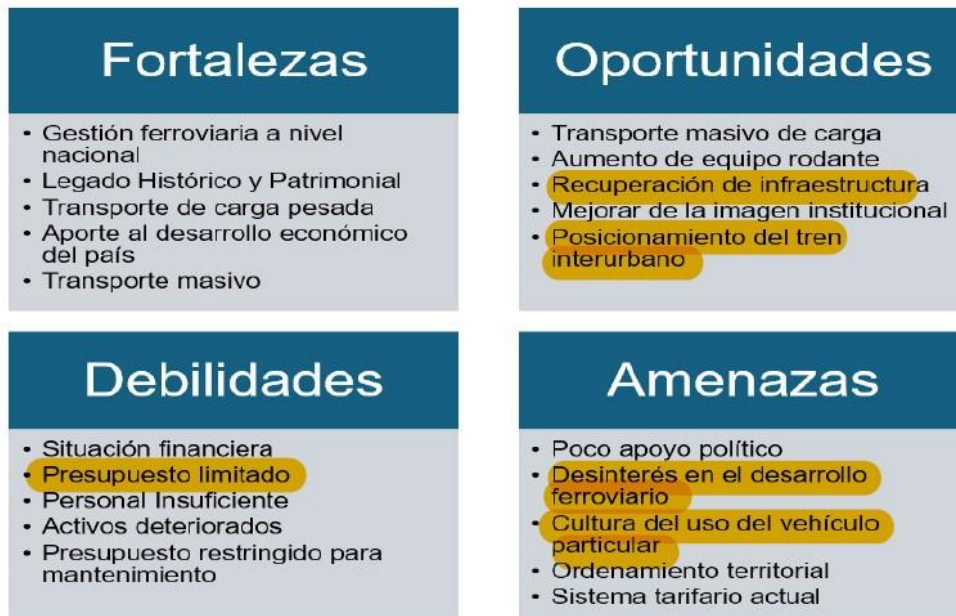
- Dependencia presupuestaria
- Poca credibilidad de la sociedad hacia la figura de la concesión
- Inadecuado discurso a nivel político acerca de la figura de la concesión
- Manifestación reiterada sobre el cierre de la institución
- Contracción de la economía
- Directrices sobre el control del gasto público

FODA CONAVI, 2025



FODA INCOFER, 2025

Tabla #4: Análisis FODA INCOFER



Fuente y Elaboración: UPI

Número 3. Factores de cambio analizados en el taller 30 de julio del 2025

1. Factores de Cambio	Actores
<p>1. Formación integral de capacidades para la resiliencia: formaciones que contribuyen al aprendizaje de conceptos y herramientas para gestionar infraestructura resiliente considerando la dinámica del ecosistema, soluciones basadas en la naturaleza, fenómenos hidrometeorológicos, tectónicos o marítimos, y la gestión de riesgo y desastres</p>	<p>Direcciones de capacitación; Academia, centros de investigación Universidades, CNE, ICE, Academia, Red sismológica, instituciones públicas</p>
<p>2. Infraestructura resiliente: Es aquella que se diseña, construye, opera con el debido mantenimiento, de manera que sea capaz de resistir las amenazas en todo su tiempo de vida útil, con ello garantiza la prestación y continuidad de los servicios para los cuales fue creada y contribuye a la reducción de la vulnerabilidad de los sistemas humanos y naturales.</p>	<p>Instituciones de cooperación, ONG, CNE, ICE, Academia, Red sismológica, instituciones públicas</p>
<p>3. Gestión de datos: recopilar, organizar, gestionar, acceso y validar los datos para generar productividad, eficiencia y tomar decisiones; implica gestionar la seguridad y la calidad, brindando datos seguros, accesibles y precisos, mediante reglas, diseño de base de datos, y determinando cómo, cuándo y dónde se almacenan.</p>	<p>Instituciones públicas, Unidades de recolección y procesamiento de información, Direcciones de Informática. ICE, UCR, TEC, UNA, IMN IGN, instituciones públicas CNE, MICIT, Mideplan PRODAT</p>
<p>4. Inteligencia Artificial en la gestión de datos: la inclusión de la IA en la gestión de datos contribuye a la capacidad humana para interpretar grandes volúmenes de datos, gracias a la capacidad de analizar grandes cantidades de datos, facilidad en la identificación de patrones, y realizar predicciones para la toma de decisiones, por medio de programas informáticos que generan algoritmos que analizan el conjunto de datos.</p>	<p>Direcciones de informática (recurso tecnológico), Jerarcas institucionales (coordinación interinstitucional). Capacitadores y proveedores de servicios de IA, Secretaria de Planificación, PROMIDAT</p>
<p>5. Accesibilidad a los datos e información: facilidad para disponer el acceso de los datos e información a los usuarios que lo requieran de manera segura y confiable.</p>	<p>Instituciones públicas y academia, Jerarcas (hacer convenio), IMN, IGN, CNE, MICIT, Mideplan PRODAT</p>
<p>6. Interoperabilidad de los datos: capacidad de generar intercambio y procesamiento de datos entre diferentes sistemas, por medio de datos precisos y consistentes, garantizando eficiencia en la operación de intercambio, fomentando la colaboración entre diferentes partes interesadas e incentivando la innovación, en un enfoque holístico pensado en la utilidad del dato para el usuario</p>	<p>Instituciones públicas, academia, fabricantes de software, CNE, MICIT, Mideplan, MOPT, entes privados, MICIT *Establecer las reglas para todas las instituciones</p>
<p>7. Sinergia interinstitucional: es el trabajo en conjunto entre instituciones para optimizar un resultado, donde la cooperación facilita el intercambio de datos o información y crean un producto con mayor utilidad</p>	<p>Jerarcas; Unidades Técnicas; productores de información, academia, MOPT, Secretarías sectoriales. IMN</p>

<p>8. Vigilancia en información de fenómenos naturales (meteorológicos, tectónicos y marítimos): herramientas e instrumentos que registran datos relacionados a dinámica del entorno meteorológico (precipitación, déficit de lluvia, etc), tectónico (movimiento de placas, sismos), marítimo (marejadas, aumento del nivel del mar influenciada por el efecto niño o niña, el apilamiento de olas en las costas, influenciado por las tormentas originadas en la parte sur y sureste del planeta; las mareas por el efecto de la fuerza de atracción gravitatoria que ejerce la luna y el sol sobre la tierra; y la dinámica tectónica entre la placa Cocos y Caribe)</p>	<p>Instituciones públicas y academia. Instituciones dueñas de equipos de toma de datos, Universidades, IMN, NOAA</p>
<p>9. Gestión del Riesgo (GR): Proceso mediante el cual se reducen las condiciones de vulnerabilidad de la población, los asentamientos humanos, la infraestructura, así como de las líneas vitales, las actividades productivas de bienes y servicios y el ambiente. Es un modelo sostenible y preventivo, al que incorporan criterios efectivos de prevención y mitigación de desastres dentro de la planificación territorial, sectorial y socioeconómica, así como a la preparación, atención y recuperación ante las emergencias.</p>	<p>Instituciones públicas y academia, Mideplan, CNE, unidades a cargo de formulación de proyectos.</p>
<p>10. Soluciones tecnológicas: herramientas digitales utilizadas para crear, editar, registrar o visualizar datos, algunas pueden estar orientadas a datos geoespaciales, modelaciones en 2D o 3D o en el monitoreo de datos, entre otros</p>	<p>Jerarcas, Direcciones de Informática; planificadores, academia, fabricantes de software, Universidades</p>
<p>11. Continuidad del servicio: asegurar la viabilidad continua de las funciones frente a eventos disruptivos, estableciendo procesos resilientes que superen desafíos</p>	<p>Instituciones públicas y academia, administradores de la información., Informática TI, MICIT</p>
<p>12. Adaptación: Acciones e intervenciones públicas de cara a los impactos probables de cambio climático, variabilidad climática y de otros orígenes, tendientes a reducir condiciones de vulnerabilidad, que permitan moderar daños, evitar pérdidas, aprovechar oportunidades para potenciar las condiciones de resiliencia de los sistemas económicos, sociales, ambientales, a escala regional, nacional y local de forma medible, reportable y verificable.</p>	<p>Instituciones públicas y academia, MOPT, unidades a cargo de formulación de proyectos, Secretaria Planificación Sectorial</p>
<p>13. Inversión de desarrollo: es el apoyo técnico o en financiamiento para proyectos de infraestructura con enfoque en reducción de riesgos y desastres, mitigación y adaptación climática por parte de organismos internacionales (Cooperación internacional)</p>	<p>Instituciones públicas y academia. Entes financieros internacionales. La banca pública, alianzas APP, Ministerio Hacienda</p>
<p>14. Planificación multisectorial: generar una coordinación multisectorial que permita a las instituciones planificar sus proyectos territoriales considerando las repercusiones al valor público de otras instancias públicas, quienes se pueden ver afectadas por dicha intervención, con el fin de resguardar los recursos del Estado y la continuidad del servicio público.</p>	<p>Instituciones públicas y academia, Mideplan, CNE Secretaria Sectoriales MINAE, MICIT</p>

Fuente: Factores 2, 9 y 12 son del Decreto número 42465; factores 3,4,5,6 y 11 fuentes indicadas en bibliografía y la demás elaboración propia.

Fotografías del taller 30 de julio del 2025

