

PROVINCIA DE MISIONES
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES – CFI
ESTUDIOS AMBIENTALES Y SOCIALES EN EL MARCO DEL PROYECTO DE
CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SOBRE ARROYO PIRAY MINÍ, REHABILITACIÓN DE
LA RUTA PROVINCIAL N°17 Y OBRAS COMPLEMENTARIAS

INFORME
PLAN DE ACCIÓN CLIMÁTICA

Expediente EX-2026-00006982

JULIO 2026



**Gobierno
de Misiones**



**CONSEJO FEDERAL
DE INVERSIONES**



Mag. Ing. Quim. Cecilia Mabel Puchalski
Ing. Quim. Franco Guido Cabrera Natalizio
Lic. Lautaro Armando Raúl Sosa
Dra. Ana Isabel Honfi
Ing. Luis Adolfo Faut
Lic. Jaime Luis Bremm
Geól. Mónica Elisabet Krioka
Dra. Carla Antonella Cossi
Lic. Martín González
Dr. Ignacio Minoli
Dr. Julio Rubén Daviña
Dr. Juan Pablo Zurano
Dr. Gustavo Andrés Zurita
Lic. Diego Martín Varela



**Consultores
del Guayrá S.R.L.**

ÍNDICE GENERAL

1.	RESUMEN.....	5
2.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.1.	Descripción del proyecto	7
2.1.1.	Descripción de la infraestructura vial.....	7
2.1.2.	Etapas: construcción, operación, mantenimiento.....	12
2.2.	Área de influencia climática del proyecto.....	14
2.3.	Objetivos del Plan.....	17
2.3.1.	Objetivo general.....	17
2.3.2.	Objetivos específicos	17
2.4.	Marco normativo e institucional.....	18
3.	MARCO CLIMÁTICO Y ESCENARIOS FUTUROS.....	20
3.1.	Tendencias climáticas históricas.....	20
3.1.1.	Temperaturas medias y extremas	20
3.1.2.	Precipitaciones medias y estacionales.....	21
3.1.3.	Precipitaciones extremas	21
3.1.4.	Otros eventos relevantes.....	22
3.1.5.	Síntesis de tendencias relevantes para el Plan de Acción Climática.....	22
3.2.	Proyecciones.....	23
3.2.1.	Escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas	23
3.2.2.	Proyecciones climáticas para el área del proyecto.....	24
4.	EVALUACIÓN INTEGRAL DE RIESGOS CLIMÁTICOS	27
4.1.	Amenazas climáticas relevantes.....	27
4.2.	Análisis de Exposición	30
4.2.1.	Infraestructura.....	31
4.2.2.	Usuarios.....	31
4.2.3.	Servicios críticos y entorno territorial	32
4.3.	Análisis de Vulnerabilidad.....	33
4.4.	Respuesta del Sistema y Capacidad de Adaptación.....	35
4.5.	Riesgos por etapas del Proyecto.....	37

4.5.1.	Etapa de construcción.....	38
4.5.2.	Etapa de operación y mantenimiento.....	39
5.	ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN Y RESILIENCIA	42
5.1.	Matriz de riesgos climáticos.....	42
5.2.	Medidas de adaptación	47
5.3.	Plan de implementación y trazabilidad	53
5.4.	Integración y resultados esperados	58
6.	INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	59
6.1.	¿Qué es la Huella de Carbono?.....	59
6.2.	Metodología	59
6.3.	Datos de Actividad y Factores de Emisión.....	61
6.4.	Efecto sobre la Huella de Carbono en escenarios Business as Usual vs Escenario de Proyecto	63
6.5.	Estimación de las Emisiones.....	64
6.5.1.	Enfoque general	64
6.5.2.	Supuestos generales del cálculo.....	65
6.5.3.	Emisiones en etapa de construcción.....	65
6.5.4.	Emisiones en etapa de operación	68
6.5.5.	Emisiones en mantenimiento.....	69
6.5.6.	Balance global del proyecto.....	69
6.5.7.	Nivel de incertidumbre	70
7.	MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE GEI.....	71
7.1.	Mitigación en construcción.....	71
7.2.	Mitigación en operación	72
7.3.	Compensación.....	72
7.4.	Plan de implementación y trazabilidad	73
7.5.	Integración y resultados esperados	77
8.	ALINEACIÓN INSTITUCIONAL Y SINERGIAS.....	78
8.1.	Marco estratégico y alineación con políticas climáticas	78
8.2.	Articulación con programas e instrumentos existentes	80
8.3.	Coordinación interinstitucional y gobernanza.....	81
8.4.	Compatibilidad con Iniciativas de Carbono a Nivel Jurisdiccional.....	83

9.	SISTEMA DE MONITOREO E INDICADORES.....	85
9.1.	Estructura del sistema de indicadores.....	85
9.2.	Matriz de indicadores (KPIs).....	85
9.3.	Implementación del sistema de monitoreo	91
9.4.	Herramientas de monitoreo.....	92
9.5.	Frecuencia y reporte	93
9.6.	Uso del sistema para la gestión adaptativa y climática.....	95
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
11.	Bibliografía	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Obras a realizar por Progresiva	8
Tabla 2:	Tramo rural sobre RP 17, por Progresiva.....	8
Tabla 3.	Síntesis de los principales escenarios utilizados en el AR6.	23
Tabla 4.	Incremento proyectado de las precipitaciones extremas para las cuencas de aporte al tramo de la RP 17.....	25
Tabla 5.	Matriz de Riesgos Climáticos.	44
Tabla 6.	Trazabilidad entre amenazas climáticas y respuestas de diseño.....	47
Tabla 7.	Tabla de implementación y trazabilidad de las medidas de adaptación.....	54
Tabla 8.	Factores de emisión sugeridos para el proyecto.	63
Tabla 9.	Valores de PCI por tipo de combustible.....	66
Tabla 10.	Total de emisiones etapa constructiva	67
Tabla 11.	Balance global de emisiones del proyecto.....	69
Tabla 12.	Tabla de implementación y trazabilidad de las medidas de mitigación.....	74
Tabla 13.	Vinculación entre los ejes estratégicos del Plan Provincial de Respuesta al Cambio Climático y las medidas incorporadas en el Proyecto RP N° 17.....	79
Tabla 14.	Indicadores de adaptación.....	86
Tabla 15.	Indicadores de mitigación.....	89

1. RESUMEN

El presente Plan de Acción Climática (PAC) expone la estrategia de resiliencia, adaptación y mitigación para el proyecto de rehabilitación y mejora de la Ruta Provincial N° 17, en el tramo comprendido entre la ciudad de Eldorado y la localidad de Dos Hermanas, atravesando el nodo clave de Pozo Azul. Este corredor no solo constituye una infraestructura vial crítica para el norte de la provincia de Misiones, sino que opera como un eje bioceánico estratégico para el transporte internacional de cargas y la conectividad socio-productiva del sector agroforestal regional.

A partir de un diagnóstico técnico integral, se identificó que la traza se desliza por una topografía accidentada y un entorno de alta biodiversidad y sensibilidad hídrica (característico de la selva paranaense), lo que expone al proyecto a riesgos climáticos significativos. Las principales amenazas detectadas —acentuadas por las proyecciones de cambio climático de mayor frecuencia de eventos extremos— comprenden inundaciones y cortes de calzada por crecidas repentinas en cuencas altas (como la del arroyo Piray Miní), procesos de erosión hídrica en taludes, desprendimientos en frentes de corte basáltico y obstrucciones por caída de biomasa forestal debido a vientos intensos. Asimismo, el desgaste térmico y estructural sobre el pavimento se ve magnificado por las marchas forzadas del tránsito pesado en pendientes pronunciadas.

Para abordar de manera proactiva estas vulnerabilidades, el proyecto se estructura bajo un enfoque de infraestructura climáticamente inteligente, combinando medidas de adaptación estructurales y operativas. La acción de mayor relevancia incluye la demolición y construcción de un nuevo puente sobre-elevado sobre el arroyo Piray Miní dotado de una mayor sección de escurrimiento y revancha hidráulica rigurosa, complementado con la readecuación geométrica de alcantarillas transversales críticas. Asimismo, se incorpora el peinado y estabilización geotécnica de frentes rocosos, el diseño de mezclas asfálticas adaptadas a la fatiga y la implantación de terceras trochas de sobrepaso para camiones, garantizando la fluidez del tránsito y la continuidad del servicio.

Desde la perspectiva de mitigación, el plan capitaliza co-beneficios ambientales concretos para reducir la huella de carbono en todo el ciclo de vida de la obra civil. Se promueven medidas de economía circular mediante la reutilización del pavimento existente en forma de Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) para banquetas y subbases, la optimización de rutas logísticas priorizando canteras de basalto y plantas locales de asfalto, y la reducción de las emisiones vehiculares operativas mediante el control de la rugosidad superficial (IRI) y la eliminación de las aceleraciones forzadas en pendientes gracias a las terceras trochas. Además, las

emisiones residuales se encuadran en una estrategia de forestación compensatoria con especies nativas que sinergiza con los objetivos de deforestación evitada del programa Jurisdiccional Anidado REDD+ (JNR) bajo el estándar VERRA que lidera la provincia.

Finalmente, el PAC define un modelo robusto de gobernanza y monitoreo continuo, liderado por la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) en articulación con la Secretaría de Cambio Climático, la Dirección General de Alerta Temprana, Protección Civil y los municipios de Eldorado y Pozo Azul. Frente a emergencias o bloqueos, se formaliza la operación pautada de desvíos utilizando la Ruta Provincial N.º 20 como bypass natural del corredor. Con un carácter marcadamente inclusivo y pluricultural, el sistema institucionaliza canales de comunicación y salvaguardas sociales específicas para las comunidades indígenas del pueblo Mbya Guaraní asentadas en el entorno del corredor, garantizando el resguardo de sus territorios, fuentes hídricas y recursos tradicionales.

En conclusión, la intervención sobre la Ruta Provincial N° 17 trasciende la obra civil tradicional para consolidarse como un activo institucional y un modelo de política climática en territorio, demostrando que la inversión en infraestructura pública resiliente es el motor indispensable para asegurar el desarrollo sostenible, la conectividad transfronteriza y la seguridad humana ante los desafíos del cambio climático en Misiones.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Descripción del proyecto

2.1.1. Descripción de la infraestructura vial

El proyecto comprende la repavimentación de la Ruta Provincial N.º 17, incluyendo la ampliación de terceras trochas, la construcción del puente sobre el arroyo Piray Mini y la ejecución de obras complementarias urbanas y rurales.

La obra se emplaza en la provincia de Misiones y comprende el tramo de la Ruta Provincial N.º 17 desarrollado entre las localidades de Eldorado y Pozo Azul, involucrando a los municipios de Eldorado, Nueve de Julio, Santiago de Liniers y Pozo Azul. La intervención principal se extiende entre los km 0,00 y 73,50 de la traza provincial. Asimismo, el proyecto incorpora una intervención puntual complementaria correspondiente al puente sobre el arroyo Piray Mini, ubicado en jurisdicción de Dos Hermanas, aproximadamente en el km 91 de la Ruta Provincial N.º 17.

La Ruta Provincial N.º 17 constituye un corredor estratégico de integración regional, ya que conecta la Ruta Nacional N.º 12, en Eldorado, con la Ruta Nacional N.º 14, en Dos Hermanas, próxima a la ciudad fronteriza de Bernardo de Irigoyen y a Dionísio Cerqueira. Actualmente, la vía presenta una calzada de dos carriles indivisos de 6,70 m de ancho y banquetas de 2,50 m, con una extensión total de 107 km.

El proyecto se inicia en la rotonda de Intersección de la RP N° 17 y Av. San Martín de la ciudad de Eldorado (Pr. 0+000); la intersección con la Av. Hipólito Yrigoyen – acceso de vehículos pesados de la localidad de Eldorado y vía de acceso al Aeródromo de la ciudad de Eldorado- se da a la altura de la Pr. 1,000. La travesía urbana de Eldorado irá entre las Pr. 0+000 a 1+100.

Entre las progresivas 7+890 y 9+730 de la RP N° 17 se encuentra la traza urbana de Nueve de Julio, en la cual se presenta una travesía parcialmente ejecutada, con un flujo de vehículos importante sobre la vía principal. En la progresiva 9+550, en sentido Sur-Este se encuentra el acceso a la colonia que lleva el mismo nombre de la localidad. El tramo analizado cuenta con un ancho de zona de camino acorde para la readecuación de la travesía urbana y sus intersecciones.

En la progresiva 12+700 de la RP N° 17, se encuentra la intersección con el acceso a la colonia Valle Hermoso, con intervención entre las progresivas 12+400 a 13+100. Dicho acceso se encuentra pavimentado y la ubicación de la intersección es óptima para materializar una canalizada para giro a la izquierda.

En torno a la progresiva 15+400 se ubica el acceso al Establecimiento “Don Guillermo”, proponiéndose una intervención entre progresivas 15+200 a 15+700.

Entre las progresivas 17+300 y 18+700 de la RP N° 17, se ubica la traza urbana de Santiago de Liniers, en la cual se presenta una travesía parcialmente ejecutada, con un flujo de vehículos importante sobre la vía principal. El tramo analizado cuenta con un ancho de zona de camino acorde para la readecuación de la travesía urbana y sus intersecciones.

A continuación, en la progresiva 20+450 de la RP N° 17, se encuentra la intersección con la Ruta Provincial N° 226, la cual brinda acceso a parajes y conglomerados del área rural de Santiago de Liniers. Dicho acceso se encuentra pavimentado y la ubicación de la intersección es óptima para materializar una canalizada para giro a la izquierda.

En Pozo Azul, la travesía se desarrolla entre las progresivas 51+500 a 54+500.

El Puente sobre al Arroyo Piray Mini se ubica en torno a la progresiva 90+500 de la RP 17, interviniéndose para la construcción del nuevo puente entre las progresivas 90+000 y 91+000.

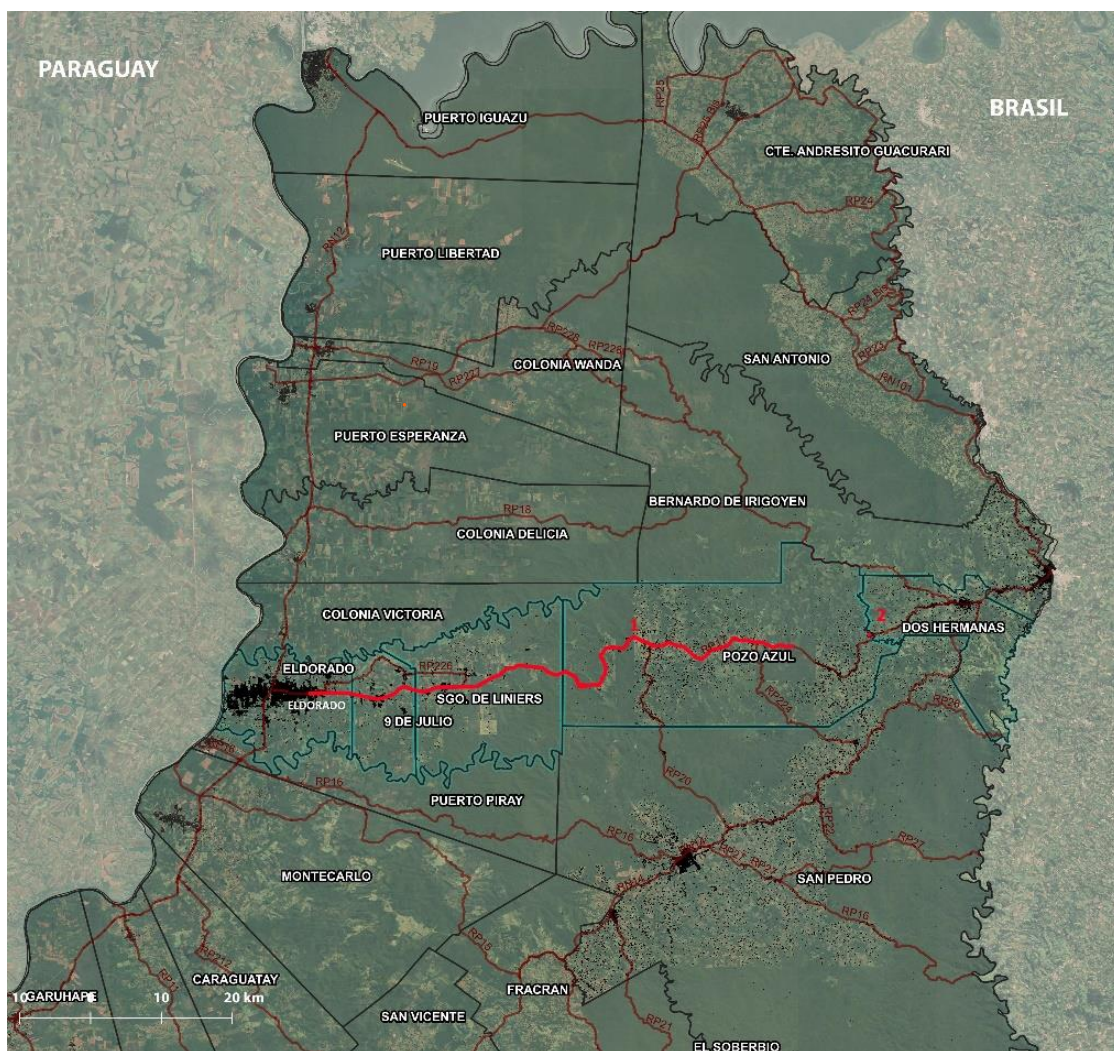
Tabla 1: Obras a realizar por Progresiva

Obra	Progresiva
Travesía Urbana de Eldorado	(Pr. 0+000 – Pr. 1+100)
Intersección RP 17 y Av. Hipólito Yrigoyen	(Pr. 1+000)
Travesía Urbana 9 de Julio	(Pr. 7+890 – Pr. 9+730)
Intersección Acc. a Colonia Valle Hermoso	(Pr. 12+400 – Pr. 13+100)
Intersección Acc. a Don Guillermo	(Pr. 15+200 – Pr. 15+700)
Travesía Urbana Santiago de Liniers	(Pr. 17+300 – Pr. 18+700)
Intersección Canalizada con Ruta Provincial N° 226	(Pr. 20+150 – Pr. 20+700)
Terceras Trochas	(Pr. 36+280 – Pr. 40+180)
Travesía Urbana de Pozo Azul	(Pr. 51+500 – Pr. 54+500)
Puente Sobre al Arroyo Piray Mini	(Pr. 90+000 – Pr. 91+000)

Tabla 2: Tramo rural sobre RP 17, por Progresiva

Tramo Rural
Pr. 1+100 – Pr. 7+890
Pr. 9+730 – Pr. 12+400
Pr. 13+100 – Pr. 15+200
Pr. 15+700 – Pr. 17+300
Pr. 18+700 – Pr. 20+150
Pr. 20+700 – Pr. 36+280
Pr. 40+180 – Pr. 51+500
Pr. 54+500 – Pr. 73+380

En general, las obras planteadas se vinculan con bacheo, repavimentación, construcción de terceras trochas, construcción de banquetas, sistemas de contención e iluminación.



BID - CFI - DPV - CdG

OBRA / PROYECTO: Repavimentación RP N° 17.
Tramo: Eldorado (Inters. Av. Tránsito Pesado) -
Nueve de Julio - Santiago de Liniers - Pozo
Azul. Puente s/ A° Piray Mini y Obras
Complementarias
MISIONES, ARGENTINA.

**Proyecto RP 17 y Municipios por los que transcorre
la Trazo del Proyecto**

Referencias

■ Edificaciones

Municipios

■ Municipios involucrados en el Proyecto

□ Otros Municipios

— Rutas Misiones OSM

— Tramo RP 17 (Proyecto)

1 - RP 17 a intervenir

2 - Puente A° Piray Mini

Fuentes

WGS 84 - EPSG 4326

- Imagen base: Google Earth.

- Edificaciones: "© OpenStreetMap contributors"

- DPV: Proyecto RP 17, Misiones, Argentina.

- IDE Misiones, MEyRNR

- Base de datos CdG - Lautaro A. R. Sosa

Mapa 1: Proyecto RP 17 y Municipios involucrados

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Esta ruta forma parte de la red vial primaria de la Provincia de Misiones y tiene un rol importante y estratégico en la vinculación regional, con una marcada condición fronteriza del corredor. Articula las rutas nacionales N° 12 (RN 12), en Eldorado y la Ruta Nacional N° 14 (RN 14), en la localidad de Dos Hermanas, conectando con Bernardo de Irigoyen y la ciudad brasileña de Dionísio Cerqueira a través del Paso Internacional de frontera seca, y con el Paraguay a través del Paso de Frontera portuario de Eldorado y Mayor Otaño.

En este corredor vial se registra una importante circulación de tránsito pesado de carácter internacional, particularmente vinculado a flujos provenientes del Estado de Santa Catarina y Paraná (Brasil) hacia la región mesopotámica, el área central y norte del país, el sur de Paraguay, y vinculado al corredor bioceánico con Chile, así como el transporte asociado a la producción local.

Actualmente esta ruta presenta un estado de deterioro generalizado. Cabe mencionar: calzadas con ahuellamientos y fisuración extendida, banquetas descalzadas y deterioradas, alcantarillas obstruidas, señalización insuficiente o inexistente, y ausencia o deficiencia de sistemas de contención lateral en distintos sectores de la traza.

Por otro lado, es relevante la situación del puente sobre el arroyo Piray Mini, cuya sección (largo y alto) y cota de tablero actual resulta insuficiente frente a eventos de precipitaciones intensas, generando situaciones recurrentes de anegamiento y corte total del tránsito por períodos extensos. La sección y cota se encuentran por debajo de los requerimientos necesarios surgidos de los análisis hidrológicos e hidráulicos en las condiciones actuales y futuras (incluyendo acontecimientos extremos debido al cambio climático).

Asimismo, la estructura existente evidencia condiciones asociadas al final de su vida útil. La interrupción del paso en este punto crítico obliga a la utilización de desvíos que incrementan mucho las distancias de recorrido —aproximadamente 90 km frente a 54 km por la traza principal—, con impactos directos sobre los costos logísticos y la accesibilidad territorial. A ello se suman las situaciones que se generan por el emplazamiento del puente, ya que se encuentra en sectores próximos a curvas y pendientes pronunciadas en ambos sentidos de circulación, lo que ha contribuido a la ocurrencia de incidentes viales de relevancia.

Estas situaciones descritas adquieren mayor preponderancia al considerar las características de la red vial actual, que tiene limitadas alternativas de conectividad transversal, especialmente en el norte provincial. En este contexto, la interrupción de

uno de los corredores principales acarrea serios problemas para la accesibilidad de poblaciones rurales, la continuidad de los flujos productivos y el tránsito de cargas de escala regional e internacional.

2.1.2. Etapas: construcción, operación, mantenimiento

Las etapas del proyecto comprenden la construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura vial correspondiente a la Ruta Provincial N.º 17, incluyendo el tramo desarrollado entre la ciudad de Eldorado y Pozo Azul, así como la construcción del nuevo puente sobre el arroyo Piray Mini y las obras complementarias urbanas y rurales asociadas. Cada etapa presenta características, requerimientos operativos y consideraciones específicas vinculadas al desempeño funcional de la infraestructura y a su adaptación frente a amenazas climáticas actuales y futuras.

La etapa de construcción corresponde a la ejecución física de las obras proyectadas e incluye un conjunto de actividades orientadas a la rehabilitación, ampliación y adecuación integral de la traza existente, con el objetivo de mejorar las condiciones de transitabilidad, seguridad vial, conectividad regional y resiliencia climática del corredor. En esta fase se desarrollan tareas preliminares como la instalación de obradores, apertura y acondicionamiento de accesos, limpieza y preparación de la zona de camino, señalización provisoria y replanteo de obra. Posteriormente, se ejecutan trabajos de movimiento de suelos, excavaciones, conformación de terraplenes y adecuación de la subrasante.

La intervención comprende asimismo la ejecución de la estructura vial mediante la construcción y rehabilitación de capas de subbase, base y carpeta asfáltica, junto con la materialización de banquetas pavimentadas y terceras trochas en sectores con pendientes o mayores exigencias operativas. Complementariamente, se desarrollan obras hidráulicas destinadas a optimizar el drenaje superficial y transversal del corredor, incluyendo construcción y reemplazo de alcantarillas, cunetas, sistemas de conducción pluvial y adecuaciones hidráulicas en travesías urbanas, considerando escenarios de precipitaciones intensas y aumento de caudales asociados al cambio climático.

En sectores específicos se ejecutan obras de mayor complejidad, incluyendo la readecuación de travesías urbanas en Eldorado, Nueve de Julio, Santiago de Liniers y Pozo Azul, la construcción de colectoras, accesos, egresos, retornos y la reconfiguración de intersecciones. Entre las principales intervenciones se destaca la

ejecución de una rotonda vinculada al acceso de tránsito pesado en Eldorado y la canalización de giros en la intersección con la Ruta Provincial N.º 226.

Asimismo, el proyecto contempla una intervención puntual complementaria correspondiente a la demolición y reconstrucción del puente sobre el arroyo Piray Miní, incluyendo las adecuaciones hidráulicas y desvíos provisorios para garantizar la continuidad del tránsito durante la ejecución. Esta intervención responde a las limitaciones estructurales e hidráulicas del puente existente, el cual ha sido afectado recurrentemente por eventos de crecida extraordinaria registrados en los últimos años, provocando interrupciones del tránsito, erosión de accesos y afectaciones a la conectividad regional.

Finalmente, en esta etapa se desarrollan tareas de señalización vertical y horizontal, instalación de sistemas de contención vehicular, iluminación, adecuación de accesos y restauración de áreas intervenidas, concluyendo con la limpieza final y puesta en servicio de la infraestructura.

Una vez finalizadas las obras y habilitada la infraestructura, se inicia la etapa de operación, en la cual la ruta entra en funcionamiento y es utilizada por tránsito liviano y pesado, transporte de cargas regional e internacional, servicios de transporte público y usuarios locales en sectores urbanos y rurales. En esta fase se materializa el uso efectivo de la infraestructura construida, mejorando la conectividad entre centros urbanos, áreas productivas y corredores regionales estratégicos, particularmente mediante la articulación con la Ruta Nacional N.º 12 y la Ruta Nacional N.º 14, así como con los pasos fronterizos hacia Brasil.

La etapa operativa implica además el funcionamiento permanente de los sistemas asociados a la vía, tales como drenaje pluvial, alcantarillas, señalización, iluminación, sistemas de contención, colectoras e intersecciones canalizadas. Particular relevancia adquiere el nuevo puente sobre el arroyo Piray Miní, diseñado bajo criterios hidráulicos más exigentes y considerando escenarios hidrológicos futuros asociados al cambio climático, con el objetivo de reducir la vulnerabilidad histórica del corredor frente a precipitaciones extremas y garantizar condiciones adecuadas de transitabilidad y seguridad.

Durante esta etapa, si bien se prevén beneficios significativos vinculados a reducción de tiempos de viaje, mejora logística y disminución de interrupciones por eventos hidrometeorológicos, persisten determinados riesgos asociados a lluvias intensas, erosión de banquetas, obstrucción de drenajes, caída de árboles, deterioro

acelerado del pavimento por altas temperaturas y riesgos de atropellamiento de fauna en sectores de sensibilidad ecológica.

Finalmente, la etapa de mantenimiento se desarrolla de manera continua durante toda la vida útil del proyecto y resulta fundamental para garantizar la durabilidad, funcionalidad y resiliencia de la infraestructura vial. Comprende actividades de conservación rutinaria, preventiva y correctiva, tales como limpieza de cunetas, alcantarillas y sistemas de drenaje, control de vegetación en zona de camino, reposición de señalización y mantenimiento de dispositivos de seguridad vial.

Asimismo, incluye intervenciones periódicas de mayor envergadura, como bacheo, sellado de fisuras, recalce de banquetas, repavimentaciones parciales, mantenimiento de colectoras, reparación de sistemas de contención y conservación de obras hidráulicas. También se contemplan tareas de inspección estructural y mantenimiento específico del puente sobre el arroyo Piray Mini, incluyendo monitoreo hidráulico, control de erosión y verificación de condiciones operativas posteriores a eventos meteorológicos extremos.

En el contexto del cambio climático, esta etapa adquiere especial relevancia debido al incremento esperado en la frecuencia e intensidad de precipitaciones extremas y procesos erosivos en la región. Por ello, el mantenimiento preventivo y adaptativo constituye un componente esencial para preservar la capacidad operativa del corredor, reducir riesgos de interrupción del tránsito y sostener las condiciones de servicio y seguridad de la infraestructura a lo largo del tiempo.

2.2. Área de influencia climática del proyecto

El área de influencia climática del proyecto de rehabilitación y adecuación de la Ruta Provincial N.º 17 se define como el ámbito territorial en el cual se manifiestan los efectos asociados tanto a la generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como a la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de la infraestructura vial frente a las condiciones climáticas actuales y futuras. Dicha área comprende el corredor vial intervenido entre Eldorado y Pozo Azul, así como la intervención puntual complementaria correspondiente al nuevo puente sobre el arroyo Piray Mini y las obras urbanas y rurales asociadas.

En una primera escala, el área de influencia climática directa corresponde a la traza de la ruta y su zona de camino, abarcando la calzada, banquetas, terceras trochas, colectoras, intersecciones, travesías urbanas, obras hidráulicas y estructuras especiales

proyectadas. En este ámbito se concentran las principales fuentes de emisiones directas durante la etapa de construcción, asociadas principalmente al uso de maquinaria pesada, movimiento de suelos, producción y transporte de materiales, consumo de combustibles y ejecución de obras civiles. Durante la etapa operativa, este sector también constituye el espacio donde se generan las emisiones vinculadas al tránsito vehicular y donde se manifiestan de manera más inmediata los efectos de eventos climáticos extremos, tales como precipitaciones intensas, anegamientos, erosión hídrica, inestabilidad de taludes y afectaciones sobre la infraestructura vial. En este marco, el área de influencia comprende tanto el corredor principal Eldorado–Pozo Azul como el entorno específico asociado a la intervención puntual del puente sobre el arroyo Piray Miní, ubicado aproximadamente en el km 91 de la Ruta Provincial N.º 17.

Particular relevancia adquiere el entorno del puente sobre el arroyo Piray Miní, debido a su condición crítica dentro del sistema vial y a los antecedentes de interrupciones recurrentes del tránsito ocasionadas por crecidas extraordinarias. Los estudios hidrológicos e hidráulicos desarrollados para el proyecto identifican eventos significativos ocurridos en 2014, 2015, 2023 y 2024, durante los cuales el nivel del arroyo superó la capacidad hidráulica de la estructura existente, generando cortes prolongados, erosión de accesos y afectaciones sobre la conectividad regional. Asimismo, los análisis efectuados indican que eventos de magnitud relativamente frecuente ya resultan capaces de comprometer la transitabilidad del puente actual, evidenciando una creciente vulnerabilidad frente a escenarios climáticos más extremos.

Complementariamente, el área de influencia climática se extiende hacia el entorno territorial adyacente al corredor vial y al sector del puente sobre el arroyo Piray Miní, incluyendo las localidades y áreas productivas vinculadas funcionalmente a la Ruta Provincial N.º 17, tales como Eldorado, Nueve de Julio, Santiago de Liniers, Pozo Azul y Dos Hermanas. En este ámbito se manifiestan efectos indirectos asociados a modificaciones en los patrones de movilidad, variaciones en los flujos de tránsito, cambios en la accesibilidad territorial y posibles transformaciones en las dinámicas logísticas y productivas regionales. Estos procesos pueden incidir tanto en la distribución espacial de emisiones vehiculares como en la exposición de las poblaciones e infraestructuras locales frente a amenazas climáticas.

Asimismo, forman parte del área de influencia las cuencas hidrográficas y sistemas de drenaje que interactúan con la infraestructura vial, particularmente

aquellos vinculados al arroyo Piray Mini y a los numerosos cursos de agua menores que atraviesan la traza. La funcionalidad hidráulica de estas cuencas resulta determinante para el comportamiento de la infraestructura frente a eventos de lluvias intensas, escorrentías extraordinarias y procesos erosivos, especialmente en un contexto regional caracterizado por elevados niveles de precipitación anual y creciente variabilidad climática.

Por otra parte, el área de influencia climática incorpora sectores de relevancia ecológica vinculados al Bosque Atlántico y a la conectividad del paisaje, considerando que la traza vial interactúa con ambientes de alta biodiversidad y áreas con distintos niveles de fragmentación del bosque nativo. En este sentido, se contemplan también los posibles efectos indirectos sobre corredores biológicos, procesos de conectividad ecológica y dinámica de fauna silvestre asociados a la infraestructura vial.

En una escala más amplia, el área de influencia climática incorpora el sistema regional de transporte y conectividad en el cual se inserta el proyecto, particularmente su articulación con la Ruta Nacional N.º 12, la Ruta Nacional N.º 14 y los corredores de vinculación fronteriza con Brasil y Paraguay. La Ruta Provincial N.º 17 constituye un corredor estratégico para el tránsito de cargas y pasajeros en el norte provincial, con importante circulación de transporte pesado asociado a actividades productivas y al comercio regional e internacional. En este nivel se consideran los efectos vinculados a la reorganización de flujos vehiculares, la mejora de la confiabilidad del corredor y la posible inducción de demanda derivada de mejores condiciones de circulación y reducción de interrupciones por eventos climáticos extremos.

En conjunto, esta delimitación permite abordar de manera integral los aspectos de mitigación y adaptación al cambio climático asociados al proyecto. Por un lado, posibilita analizar la generación, distribución y potencial reducción de emisiones de GEI derivadas de las distintas etapas del proyecto; y, por otro, evaluar la capacidad de la infraestructura y del territorio para responder y adaptarse a condiciones climáticas actuales y futuras, fortaleciendo la resiliencia del corredor vial frente a escenarios de mayor intensidad y frecuencia de eventos hidrometeorológicos extremos.

2.3. Objetivos del Plan

2.3.1. Objetivo general

Incorporar la variable climática en todas las etapas del proyecto de rehabilitación y adecuación de la Ruta Provincial N.º 17, promoviendo medidas de mitigación y adaptación que contribuyan a reducir emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la resiliencia de la infraestructura y fortalecer su capacidad de respuesta frente a eventos hidrometeorológicos extremos y escenarios futuros de cambio climático, asegurando la sostenibilidad y continuidad operativa del corredor vial.

2.3.2. Objetivos específicos

Mitigación

- Identificar y gestionar las principales fuentes de emisiones de GEI asociadas al proyecto durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento.
- Incorporar criterios de eficiencia energética y optimización constructiva que contribuyan a reducir la huella de carbono de la infraestructura vial.
- Promover el uso eficiente de materiales, combustibles y recursos durante la ejecución y operación del proyecto.

Adaptación y resiliencia

- Evaluar la exposición y vulnerabilidad del proyecto frente a amenazas climáticas relevantes, tales como precipitaciones intensas, crecidas, erosión e inestabilidad de taludes.
- Incorporar medidas de adaptación y resiliencia climática en el diseño, construcción y operación de la infraestructura.
- Fortalecer la capacidad del corredor vial para mantener condiciones adecuadas de transitabilidad y seguridad frente a eventos climáticos extremos.

Gestión del riesgo climático

- Integrar la gestión del riesgo climático en las etapas de planificación, construcción, operación y mantenimiento del proyecto.
- Implementar medidas preventivas y correctivas orientadas a reducir daños sobre la infraestructura y minimizar interrupciones del tránsito ante eventos hidrometeorológicos extremos.

Monitoreo y gestión adaptativa

- Definir indicadores y mecanismos de monitoreo para evaluar el desempeño climático del proyecto y la efectividad de las medidas implementadas.
- Promover un enfoque de gestión adaptativa que permita ajustar las acciones en función de la evolución de las condiciones climáticas y del comportamiento de la infraestructura.

Fortalecimiento institucional

- Fortalecer las capacidades técnicas e institucionales de los actores responsables de la implementación y mantenimiento del proyecto en materia de cambio climático y resiliencia.
- Promover la articulación interinstitucional para la gestión climática y el seguimiento del proyecto en el largo plazo.

2.4. Marco normativo e institucional

El Plan de Acción Climática del proyecto se inscribe en un marco normativo e institucional multinivel que abarca compromisos internacionales, legislación nacional, instrumentos estratégicos y normativa provincial, los cuales orientan la incorporación del cambio climático en el ciclo de vida de la obra.

En el plano internacional, el principal antecedente es el Acuerdo de París, adoptado en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCC, s.f.), al cual la República Argentina adhiere. Este acuerdo establece el compromiso de limitar el aumento de la temperatura global y promover un desarrollo resiliente y bajo en emisiones de gases de efecto invernadero. En este contexto, los países presentan sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) como instrumentos centrales de planificación climática.

En línea con ello, Argentina ha actualizado su NDC, estableciendo metas de mitigación más ambiciosas y reforzando el componente de adaptación, con énfasis en sectores estratégicos como la infraestructura. Complementariamente, el país ha desarrollado la Estrategia de Desarrollo Resiliente con Bajas Emisiones a Largo Plazo (ELP), que define una trayectoria hacia la carbono-neutralidad a mediados de siglo, promoviendo la incorporación de criterios de eficiencia, sostenibilidad y resiliencia en obras públicas. Estos instrumentos refuerzan la necesidad de que los proyectos viales integren medidas que reduzcan emisiones y aumenten su capacidad de adaptación frente a escenarios climáticos futuros. (Subsecretaría de Ambiente de la Nación, 2026)

En concordancia con estos compromisos, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) incorpora el cambio climático como eje transversal a través de su Marco de Política Ambiental y Social (MPAS) (Banco Interamericano de Desarrollo, 2021), el cual exige la identificación y gestión de riesgos climáticos, la incorporación de medidas de adaptación y resiliencia, y la promoción de eficiencia en el uso de recursos y reducción de emisiones en los proyectos financiados.

A nivel nacional, el marco rector está dado por la Ley Nacional N° 27.520 de Presupuestos Mínimos de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Global, que establece los lineamientos para la política climática y promueve la integración del cambio climático en la planificación sectorial. Como instrumento operativo, el Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019) define medidas concretas para sectores como infraestructura, orientadas a reducir la vulnerabilidad y fortalecer la resiliencia frente a eventos extremos.

En el ámbito provincial, la Provincia de Misiones ha avanzado en la institucionalización de la política climática mediante instrumentos específicos. La Disposición N° 853/2025 de Subsecretaría de Ambiente de la Nación convalida el Plan de Respuesta Provincial al Cambio Climático, en el que se establece lineamientos para la incorporación del cambio climático en proyectos de inversión pública, incluyendo la evaluación de riesgos climáticos y la definición de medidas de adaptación y mitigación. A su vez, el Plan de Respuesta define prioridades estratégicas, líneas de acción e indicadores para la gestión climática a nivel jurisdiccional, promoviendo la articulación de proyectos de infraestructura con las estrategias provinciales de resiliencia.

El Plan de Acción Climática se articula operativamente con el Plan de Gestión Ambiental y Social (PGAS) del proyecto, integrando la dimensión climática dentro de los instrumentos de gestión existentes y asegurando la implementación de medidas a lo largo de las etapas de construcción, operación y mantenimiento. Asimismo, se enmarca en la normativa ambiental general aplicable, incluyendo la Ley General del Ambiente N° 25.675 y la Ley XVI N° 35 de Evaluación de Impacto Ambiental de la Provincia de Misiones.

3. MARCO CLIMÁTICO Y ESCENARIOS FUTUROS

3.1. Tendencias climáticas históricas

El análisis de las tendencias climáticas históricas constituye un insumo clave para comprender la evolución reciente del clima en el área del proyecto y contextualizar las proyecciones futuras utilizadas en el presente Plan de Acción Climática. A tal efecto, se tomó como referencia la información desarrollada en la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (TCN) (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2014), que analiza la evolución de variables climáticas en Argentina para el período 1960–2010.

La provincia de Misiones se inscribe dentro de la denominada región Húmeda, caracterizada por elevados niveles de precipitación y una dinámica climática fuertemente influenciada por procesos regionales. A continuación, se sintetizan las principales tendencias observadas para las variables climáticas más relevantes.

3.1.1. Temperaturas medias y extremas

En términos generales, la región Húmeda ha experimentado un proceso de calentamiento durante la segunda mitad del siglo XX, con un aumento promedio de la temperatura media anual del orden de 0,4°C entre 1950 y 2010, valor inferior al promedio global continental para el mismo período. En más de la mitad de la región, este incremento superó los 0,5°C.

Para la provincia de Misiones, si bien el aumento de la temperatura media anual no es uniforme, se observan incrementos de hasta 0,5°C en el sector noreste, evidenciando una tendencia al calentamiento regional.

Al analizar las componentes de la temperatura:

- La temperatura mínima media muestra un aumento significativo en gran parte de la provincia, superior a 0,5°C, especialmente en las zonas centro y norte.
- En contraste, la temperatura máxima media presenta una tendencia más estable, e incluso una disminución en sectores del sur provincial (del orden de -0,5°C), fenómeno que se asocia a cambios en el régimen de precipitaciones.

En cuanto a los extremos térmicos, los cambios observados son consistentes con el proceso de calentamiento y presentan implicancias relevantes:

- Disminución significativa en el número de días con heladas, las cuales prácticamente han desaparecido en zonas bajas.

- Incremento marcado en la frecuencia de noches tropicales (temperaturas mínimas superiores a 20°C), con aumentos del orden del 30%.
- Aumento en la frecuencia y duración de olas de calor, especialmente a partir de la década de 1990.
- Incremento en el valor mínimo anual de temperatura, indicando noches más cálidas.
- Disminución del valor máximo anual de temperatura extrema, posiblemente asociada al aumento de la humedad y nubosidad.

Por lo tanto, estas tendencias evidencian un cambio hacia un régimen térmico más cálido, con mayor incidencia de extremos asociados a altas temperaturas.

3.1.2. Precipitaciones medias y estacionales

La región Húmeda de Argentina se destaca a nivel global por haber experimentado uno de los mayores incrementos en precipitación durante la segunda mitad del siglo XX. En este contexto, se observa un aumento general de las precipitaciones anuales entre 1950 y 2005, tendencia que también se verifica en la zona de Corrientes-Misiones.

A nivel estacional, los cambios presentan un patrón definido:

- Incremento de las precipitaciones durante el período cálido (primavera y verano).
- Disminución o estabilidad durante el invierno.

Estos cambios implican una modificación en la distribución intra-anual de las lluvias, con posibles efectos sobre los procesos hidrológicos.

3.1.3. Precipitaciones extremas

En relación con los eventos extremos de precipitación, los resultados muestran tendencias mixtas pero relevantes desde la perspectiva del riesgo climático. Si bien la precipitación diaria máxima anual presenta una leve disminución, se observa un incremento en la precipitación acumulada asociada a eventos intensos (percentil 95) y en la precipitación máxima registrada durante períodos consecutivos de varios días. Además, se evidencia una disminución en la duración de los períodos secos, lo que indica una mayor recurrencia de eventos de precipitación.

Aunque esta tendencia podría sugerir una menor ocurrencia de sequías desde una perspectiva histórica, la creciente variabilidad climática observada en la región y

los episodios recientes de sequía meteorológica e hidrológica registrados en la provincia de Misiones ponen de manifiesto la necesidad de considerar este fenómeno como una amenaza relevante para la gestión operativa del proyecto. En conjunto, aun cuando algunas de las tendencias identificadas no resultan estadísticamente significativas, los resultados sugieren una evolución hacia un régimen hidrológico caracterizado por una mayor concentración de las precipitaciones en eventos intensos, consistente con los patrones observados a escala regional.

3.1.4. Otros eventos relevantes

Adicionalmente, estudios complementarios evidencian un aumento en la frecuencia de eventos de granizo en la región noreste argentina, incluyendo la provincia de Misiones, con una tendencia creciente entre 1960 y 2010, aunque con alta variabilidad interanual.

3.1.5. Síntesis de tendencias relevantes para el Plan de Acción Climática

En el contexto del Plan de Acción Climática, las tendencias históricas observadas permiten identificar los siguientes procesos relevantes:

- Incremento de la temperatura media, especialmente en temperaturas mínimas.
- Aumento en la frecuencia de extremos térmicos cálidos (noches tropicales, olas de calor).
- Incremento general de las precipitaciones, particularmente en estaciones cálidas.
- Mayor concentración de lluvias en eventos intensos.
- Reducción de períodos secos y cambios en la dinámica hidrológica.
- Incremento en la ocurrencia de eventos severos como granizo.

Estas tendencias constituyen una evidencia empírica de los cambios climáticos en curso en la región y proporcionan una base sólida para la interpretación de las proyecciones futuras y la definición de medidas de adaptación en el marco del presente Plan de Acción Climática.

3.2. Proyecciones

3.2.1. Escenarios de Trayectorias Socioeconómicas

Compartidas

Los Escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) constituyen el marco de referencia utilizado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en el Sexto Informe de Evaluación (AR6) (IPCC, 2021) para analizar la evolución futura del clima. Estos escenarios combinan supuestos sobre el desarrollo socioeconómico global (crecimiento poblacional, desarrollo económico, uso de la energía, cambios tecnológicos y políticas climáticas) con trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero, permitiendo evaluar distintos niveles de calentamiento global y sus posibles impactos.

Los SSP se estructuran en cinco narrativas principales que representan diferentes futuros posibles, desde escenarios sostenibles con bajas emisiones hasta escenarios intensivos en combustibles fósiles. Cada uno de estos escenarios se asocia a una trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero, expresada en términos de forzamiento radiativo hacia finales de siglo (medido en W/m^2), lo que permite estimar el aumento de la temperatura media global.

Los principales escenarios considerados por el IPCC se resumen en la siguiente Tabla.

Tabla 3. Síntesis de los principales escenarios utilizados en el AR6.

Escenario SSP	Denominación	Características principales	Nivel de emisiones	Calentamiento estimado a 2100*
SSP1-1.9	Sostenibilidad (muy bajas emisiones)	Desarrollo sostenible, fuerte acción climática, transición energética acelerada	Muy bajo	~1,5 °C
SSP1-2.6	Sostenibilidad (bajas emisiones)	Políticas climáticas activas, reducción significativa de emisiones	Bajo	~1,8 °C
SSP2-4.5	Camino intermedio	Tendencias actuales sin cambios drásticos	Intermedio	~2,7 °C

SSP3-7.0	Rivalidad regional	Bajo desarrollo, alta fragmentación global, escasa cooperación climática	Alto	~3,6 °C
SSP5-8.5	Desarrollo intensivo en combustibles fósiles	Crecimiento económico acelerado basado en uso intensivo de energía fósil	Muy alto	~4,4 °C

Fuente: Elaboración propia a partir de (IPCC, 2021) *Valores aproximados respecto del período preindustrial, según rangos reportados por el IPCC AR6.

Para el análisis específico de la Ruta Provincial N° 17 y del puente sobre el arroyo Piray Mini se utilizaron seis modelos climáticos globales de última generación (CMIP6), considerando los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5, representativos de trayectorias de bajas, medias y altas emisiones. Los resultados obtenidos permitieron evaluar los efectos potenciales del cambio climático sobre las variables climáticas e hidrológicas relevantes para el diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura vial.

3.2.2. Proyecciones climáticas para el área del proyecto

En el marco del presente Plan de Acción Climática, las proyecciones constituyen un insumo fundamental para la identificación de amenazas y la definición de medidas de adaptación orientadas a mejorar la resiliencia de la infraestructura vial de la RP 17 a lo largo de su ciclo de vida.

Para ello, el análisis se estructuró a partir de proyecciones desarrolladas a escala nacional y regional, basadas en la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (TCN) (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2014) y en las actualizaciones del Sistema de Mapas de Riesgo del Cambio Climático (SIMARCC) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020). Sobre este marco general, el análisis específico para la Ruta Provincial N° 17 incorporó el estudio hidrológico y de modelación climática desarrollado por Leandro Kazimierski (Kazimierski, 2026). Dicho trabajo técnico se destaca por la aplicación de seis modelos globales de última generación (CMIP6) (IPCC, 2021), combinados con técnicas de regionalización (*downscaling*) para las cuencas de aporte bajo tres escenarios de Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5). La adopción de esta metodología específica resulta fundamental, ya que provee

proyecciones locales acotadas que constituyen el sustento técnico definitivo para el rediseño del puente sobre el arroyo Piray Mini y la adecuación de las alcantarillas transversales.

Las proyecciones climáticas para el área de influencia de la RP 17 coinciden en señalar una tendencia sostenida al aumento de las temperaturas y a una mayor intensidad de los eventos de precipitación extrema durante el siglo XXI.

Proyecciones de Temperatura: Los escenarios analizados muestran un incremento progresivo de la temperatura media regional asociado al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. La consultoría específica para el programa AR-L1437 proyecta incrementos de temperatura de $1,2 \pm 0,3$ °C (SSP1-2.6), $1,84 \pm 0,48$ °C (SSP2-4.5) y $2,76 \pm 0,5$ °C (SSP5-8.5). Estos aumentos se asocian a una mayor frecuencia e intensidad de olas de calor, afectando potencialmente la durabilidad de la carpeta asfáltica y las condiciones de seguridad laboral durante el mantenimiento.

Proyecciones de Precipitación: Si bien las proyecciones de la TCN indican que los cambios en la precipitación media anual para Misiones serán reducidos (entre 0% y 10%), se observa una señal robusta respecto al incremento de la precipitación acumulada asociada a eventos intensos.

A escala local, el estudio de Kazimierski (Kazimierski, 2026) confirma y profundiza estas tendencias para las cuencas que aportan a la RP 17. Los resultados muestran un incremento consistente en la intensidad de las precipitaciones extremas respecto del período histórico, con factores de aumento que varían entre el 8% y el 22% para el tramo lineal de la ruta, alcanzando picos del 25% en la cuenca del arroyo Piray Mini.

Tabla 4. Incremento proyectado de las precipitaciones extremas para las cuencas de aporte al tramo de la RP 17

Escenario	TR 2 años	TR 10 años	TR 50 años	TR 100 años
SSP1-2.6 (Optimista)	8,24%	14,33%	18,33%	19,87%
SSP2-4.5 (Intermedio)	9,21%	13,71%	17,09%	18,76%
SSP5-8.5 (Pesimista)	12,59%	18,61%	21,20%	21,96%

Estas tendencias indican una creciente variabilidad climática que exacerba los riesgos de inundaciones fluviales y pluviales, erosión hídrica en banquetas y socavación de estribos. En consecuencia, el diseño de ingeniería de la RP 17 ha adoptado estos ratios incrementales (específicamente el escenario SSP5-8.5) para

garantizar que el nuevo puente y los sistemas de drenaje mantengan su funcionalidad y seguridad ante las crecidas proyectadas para finales de siglo.

Estas tendencias indican una creciente variabilidad climática, caracterizada por una mayor alternancia entre períodos húmedos y secos y una mayor frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos. Como consecuencia, aumentan los riesgos asociados a inundaciones, erosión hídrica, socavación de obras de drenaje, inestabilidad localizada de taludes y cortes temporales de transitabilidad, factores que podrían afectar el desempeño y la resiliencia de la infraestructura vial durante su vida útil.

Adicionalmente, se reconoce el potencial incremento en la ocurrencia e intensidad de eventos meteorológicos severos, incluyendo vientos intensos, de acuerdo con lo señalado en instrumentos nacionales de planificación climática, aspecto que resulta relevante para la operación y el mantenimiento de la infraestructura.

Por lo tanto, las proyecciones climáticas indican que la principal amenaza para la infraestructura vial del proyecto se encuentra asociada al aumento de la intensidad de las precipitaciones extremas y de los caudales de escorrentía, mientras que el incremento de las temperaturas y de los eventos extremos de calor podría generar mayores exigencias operativas, de mantenimiento y de conservación de la infraestructura.

4. EVALUACIÓN INTEGRAL DE RIESGOS CLIMÁTICOS

El análisis se estructura siguiendo un enfoque de riesgo climático basado en la interacción entre amenazas, exposición y vulnerabilidad, en línea con metodologías internacionales de evaluación de riesgos.

La evaluación integral de los riesgos climáticos asociados al proyecto se desarrolla a partir del análisis sistemático de las amenazas climáticas relevantes, la exposición de los componentes del sistema vial y su nivel de vulnerabilidad frente a condiciones actuales y futuras. Este enfoque permite comprender de manera estructurada cómo los fenómenos climáticos pueden afectar el desempeño de la infraestructura y su funcionalidad a lo largo de su ciclo de vida.

Adicionalmente, se incorpora el análisis de la respuesta del sistema y su capacidad de adaptación, con el objetivo de identificar fortalezas, limitaciones y brechas en la resiliencia del sistema vial frente a eventos climáticos.

Finalmente, se evalúan los riesgos específicos en las distintas etapas del proyecto —construcción, operación y mantenimiento— considerando tanto impactos físicos como operativos.

4.1. Amenazas climáticas relevantes

A partir de las tendencias climáticas históricas y de las proyecciones futuras analizadas —que indican un incremento de las temperaturas, una intensificación de los eventos extremos de precipitación, una mayor variabilidad climática y un potencial aumento en la ocurrencia e intensidad de eventos meteorológicos severos— se identifican las principales amenazas climáticas que pueden afectar el desempeño del proyecto durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento. Estas amenazas se manifiestan a través de impactos que surgen de la interacción entre las condiciones climáticas y los componentes físicos y funcionales de la infraestructura vial.

El proyecto se emplaza sobre un corredor vial estratégico de la provincia de Misiones, en el cual se registran antecedentes de afectación de la transitabilidad asociados principalmente a eventos de precipitaciones intensas, inundaciones y procesos erosivos. En particular, el sector correspondiente al puente sobre el arroyo Piray Mini presenta antecedentes recurrentes de desbordes e interrupciones temporales del tránsito, lo que evidencia una condición preexistente de elevada exposición y sensibilidad frente a amenazas hidrometeorológicas. En este contexto,

las amenazas climáticas no solo representan riesgos futuros, sino que también reflejan problemáticas actuales asociadas a limitaciones hidráulicas, procesos de erosión y vulnerabilidades propias de la infraestructura existente.

Entre las amenazas identificadas, las precipitaciones extremas constituyen el factor de mayor nivel de riesgo. Su creciente frecuencia e intensidad generan incrementos en la escorrentía superficial, saturación de suelos, erosión hídrica y sobrecarga de los sistemas de drenaje, actuando como el principal desencadenante de anegamientos, socavaciones e interrupciones de la transitabilidad. En estrecha relación, las inundaciones se presentan como una manifestación directa de estos eventos, afectando la calzada, las banquetas, las obras de drenaje y particularmente las estructuras hidráulicas localizadas en sectores críticos del corredor, entre ellos el puente sobre el arroyo Piray Mini. Debido a su recurrencia y a su impacto directo sobre la funcionalidad del sistema vial, ambas amenazas se consideran críticas para el proyecto.

Los procesos de erosión, socavación e inestabilidad localizada de taludes constituyen otra amenaza relevante, particularmente en contextos de precipitaciones intensas y elevada saturación de suelos. Estos fenómenos pueden generar pérdida de material, degradación de banquetas y terraplenes, afectación de obras hidráulicas y, en sectores puntuales asociados a cortes y movimientos de suelo, comprometer la estabilidad de la infraestructura y la seguridad vial, incrementando además las necesidades de mantenimiento. En particular, en el sector del Cerro 60, donde se prevén intervenciones que requieren estudios geotécnicos específicos, las precipitaciones intensas podrían favorecer procesos localizados de inestabilidad y caída de material.

Las sequías y períodos secos representan una amenaza climática de relevancia moderada en el área de influencia del proyecto. Si bien su nivel de riesgo relativo es inferior al asociado a los excesos hídricos, el aumento de la variabilidad climática podría favorecer la ocurrencia de períodos secos prolongados con efectos ambientales, sociales y operativos. La alternancia entre períodos secos y eventos de precipitaciones intensas puede incrementar la susceptibilidad a procesos erosivos y afectar la estabilidad superficial de taludes y banquetas. Asimismo, episodios recientes de sequía registrados en la provincia de Misiones evidencian la posibilidad de restricciones temporales en la disponibilidad de agua para diversos usos.

Considerando que numerosas actividades productivas y comunidades rurales del área dependen de fuentes locales de abastecimiento, la prolongación de períodos

secos podría afectar la disponibilidad de agua para consumo humano, actividades agropecuarias y usos vinculados a la ejecución y mantenimiento de la infraestructura vial. Durante la etapa constructiva, esta situación podría generar restricciones para la obtención de agua destinada al control de polvo, preparación de materiales y otras actividades de obra, mientras que durante la operación podría afectar indirectamente a las comunidades usuarias del corredor.

Las sequías y períodos secos representan una amenaza climática de relevancia moderada en el área de influencia del proyecto. Si bien su nivel de riesgo relativo es inferior al asociado a los excesos hídricos, el aumento de la variabilidad climática podría favorecer la ocurrencia de períodos secos prolongados con efectos ambientales, sociales y operativos. La alternancia entre períodos secos y eventos de precipitaciones intensas puede incrementar la susceptibilidad a procesos erosivos y afectar la estabilidad superficial de taludes, banquinas y sectores intervenidos. Asimismo, episodios recientes de sequía registrados en la provincia de Misiones evidencian la posibilidad de restricciones temporales en la disponibilidad de agua para diversos usos.

Si bien la disponibilidad de agua no constituye un factor crítico para la funcionalidad de la infraestructura vial proyectada, la prolongación de períodos secos podría generar condicionamientos operativos puntuales durante la etapa constructiva, particularmente en relación con la provisión de agua para el control de polvo, la preparación de materiales y otras actividades de obra. Asimismo, podrían producirse efectos indirectos sobre actividades productivas y comunidades rurales del área de influencia.

En este contexto, los incendios rurales y forestales constituyen una amenaza secundaria asociada a condiciones de sequía prolongada y altas temperaturas. Si bien no representan una amenaza climática primaria para la infraestructura vial, pueden generar impactos indirectos relevantes, tales como la pérdida de cobertura vegetal estabilizadora, el aumento de la susceptibilidad a procesos erosivos, la afectación de la seguridad vial por presencia de humo o reducción de visibilidad y eventuales restricciones temporales a la circulación.

Por otra parte, el incremento de la temperatura media y de los extremos térmicos favorece una mayor frecuencia e intensidad de olas de calor. Aunque sus efectos suelen manifestarse de manera más gradual que los asociados a lluvias e inundaciones, estas condiciones pueden acelerar el deterioro de los materiales,

particularmente del pavimento, y afectar las condiciones operativas y de seguridad laboral durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento.

Finalmente, los eventos meteorológicos severos asociados a vientos intensos constituyen una amenaza adicional de carácter principalmente operativo, con potencial para provocar la caída de árboles o ramas sobre la calzada, afectar la señalización vial y reducir las condiciones de seguridad para los usuarios, especialmente cuando se presentan en combinación con tormentas intensas.

En conjunto, estas amenazas evidencian que el cambio climático introduce condiciones cada vez más exigentes para el diseño, la construcción y la gestión de la infraestructura vial. Se destacan particularmente las amenazas hidrometeorológicas —precipitaciones extremas, inundaciones, erosión y procesos de socavación asociados— como factores críticos para el desempeño de la Ruta Provincial N° 17 y del puente sobre el arroyo Piray Mini, complementadas por amenazas de evolución más gradual o indirecta, como las olas de calor, las sequías, las restricciones temporales en la disponibilidad de agua y los incendios asociados.

En este contexto, el proyecto se configura como una intervención clave de adaptación, orientada a reducir tanto los riesgos actuales como los proyectados, aunque sin eliminarlos completamente.

4.2. Análisis de Exposición

La exposición del proyecto se refiere al conjunto de elementos físicos, funcionales y territoriales localizados en el área de influencia que pueden verse afectados por las amenazas climáticas identificadas, principalmente precipitaciones extremas, inundaciones, procesos erosivos, inestabilidad localizada de taludes y otros eventos hidrometeorológicos. La exposición considera tanto la infraestructura vial como los usuarios del corredor, los servicios críticos dependientes del sistema vial y los elementos del entorno territorial que interactúan con la obra.

La Ruta Provincial N° 17 constituye un corredor estratégico de integración territorial y productiva de la provincia de Misiones, conectando la Ruta Nacional N° 12 con la Ruta Nacional N° 14 y articulando áreas urbanas, rurales y productivas del norte provincial. En este contexto, la infraestructura, los usuarios y los servicios vinculados al corredor vial se encuentran expuestos a amenazas climáticas actuales y futuras, cuya intensidad podría incrementarse bajo escenarios de cambio climático. En particular, el sector correspondiente al puente sobre el arroyo Piray Mini presenta antecedentes de

afectación de la transitabilidad asociados a eventos hidrológicos extremos, evidenciando una condición preexistente de elevada exposición.

4.2.1. Infraestructura

La Ruta Provincial N° 17 presenta un elevado nivel de exposición a amenazas hidrometeorológicas debido a su extensión territorial, la presencia de numerosos cursos de agua y obras de drenaje, sectores con susceptibilidad a procesos erosivos y áreas puntuales donde la topografía y las condiciones geotécnicas pueden incrementar la exposición y sensibilidad frente a eventos extremos.

Los principales componentes de la infraestructura vial —calzada, banquetas, taludes, terraplenes, obras de drenaje, estructuras de puentes y obras complementarias— se encuentran expuestos a fenómenos tales como:

- Lluvias intensas y eventos extremos de precipitación.
- Inundaciones y anegamientos.
- Incremento de escorrentías superficiales y caudales de crecida.
- Procesos de erosión, socavación e inestabilidad localizada de taludes.
- Eventos meteorológicos severos asociados a tormentas y vientos intensos.
- Olas de calor y temperaturas extremas.

La dinámica climática e hidrológica de la región, caracterizada por precipitaciones abundantes y eventos extremos recurrentes, determina una exposición significativa de la infraestructura vial frente a estos fenómenos. Particularmente, el puente sobre el arroyo Piray Mini y determinados sectores de corte y movimiento de suelo, entre ellos el sector del Cerro 60, presentan niveles de exposición elevados frente a amenazas hidrometeorológicas y geotécnicas, lo que requiere una consideración específica en el diseño y la gestión de la infraestructura.

4.2.2. Usuarios

Los usuarios de la Ruta Provincial N° 17 se encuentran expuestos a los efectos de eventos climáticos extremos que puedan afectar las condiciones de transitabilidad y seguridad vial. Dado el carácter estratégico del corredor como vínculo entre las rutas nacionales N° 12 y N° 14, la afectación de la infraestructura puede generar impactos sobre la movilidad regional, el transporte de pasajeros, el transporte de cargas, el acceso a servicios esenciales y la conectividad de las comunidades urbanas, rurales e indígenas localizadas en el área de influencia del proyecto.

Entre los principales usuarios expuestos se incluyen residentes locales, trabajadores, transportistas, productores agropecuarios y forestales, servicios de emergencia y miembros de las comunidades Mbya Guaraní asentadas en el área de influencia, cuya movilidad, acceso a servicios y desarrollo de actividades productivas dependen en gran medida de la funcionalidad del corredor vial.

Durante episodios de inundación, anegamiento, erosión, caída de material o deterioro temporal de la infraestructura, los usuarios pueden experimentar interrupciones en sus desplazamientos, incrementos en los tiempos de viaje, restricciones operativas y desvíos, afectando la conectividad territorial, el acceso a servicios básicos y el desarrollo de las actividades económicas asociadas al corredor.

La exposición de los usuarios se encuentra directamente asociada a la utilización del corredor vial y a su localización dentro del área potencialmente afectada por las amenazas climáticas identificadas.

4.2.3. Servicios críticos y entorno territorial

Los servicios críticos localizados dentro del área de influencia del proyecto — incluyendo establecimientos de salud, instituciones educativas, servicios de emergencia, actividades productivas, sistemas logísticos regionales y servicios de abastecimiento y conectividad territorial— se encuentran expuestos a las consecuencias derivadas de afectaciones sobre la infraestructura vial ocasionadas por eventos climáticos extremos. Dada la función estratégica de la Ruta Provincial N° 17 como corredor de integración territorial y productiva del norte de la provincia de Misiones, eventuales interrupciones o restricciones de transitabilidad pueden afectar el acceso a servicios esenciales, la movilidad de la población y la circulación de bienes y productos asociados a las actividades económicas regionales.

Asimismo, diversos elementos del entorno territorial forman parte del sistema expuesto a las amenazas climáticas, entre ellos:

- Los cursos de agua y subcuencas atravesados por el corredor vial, incluyendo el arroyo Piray Mini y otros cauces tributarios, que pueden experimentar incrementos temporales de caudales, desbordes y procesos de socavación durante eventos hidrometeorológicos extremos.
- Los suelos y unidades geomorfológicas susceptibles a saturación hídrica, erosión y procesos localizados de inestabilidad, particularmente en sectores de cortes y movimientos de suelo, como el área del Cerro 60.

- La cobertura vegetal asociada a taludes, márgenes de la vía y áreas adyacentes, cuya alteración puede incrementar la susceptibilidad a procesos erosivos y afectar la estabilidad superficial de la infraestructura.
- Las áreas rurales, centros poblados y establecimientos productivos vinculados a actividades forestales, agropecuarias, comerciales y de servicios, cuya conectividad depende en gran medida de la Ruta Provincial N° 17.
- Las comunidades Mbya Guaraní localizadas en el área de influencia del proyecto, cuyo acceso a servicios de salud, educación, actividades productivas y espacios de interacción comunitaria depende, en diversa medida, de la funcionalidad y accesibilidad del corredor vial.
- Los ecosistemas y áreas ambientalmente sensibles presentes en el área de influencia del proyecto, susceptibles a alteraciones derivadas de eventos hidrometeorológicos extremos y procesos erosivos asociados.

Por lo tanto, la exposición se considera elevada debido a la presencia de infraestructura estratégica, usuarios, servicios esenciales, actividades productivas, comunidades indígenas y elementos ambientales localizados dentro del área potencialmente afectada por las amenazas climáticas identificadas, así como por el rol de la Ruta Provincial N° 17 como corredor estratégico de integración territorial y productiva de la provincia.

4.3. Análisis de Vulnerabilidad

La vulnerabilidad del proyecto se refiere al grado en que la infraestructura vial, los usuarios y los servicios asociados pueden verse afectados por las amenazas climáticas identificadas, en función de sus características físicas, condiciones de diseño, estado actual, nivel de dependencia funcional y capacidad de respuesta frente a dichas amenazas. Este análisis considera además la interacción entre el cambio climático y los riesgos ambientales y sociales existentes, evaluando de qué manera las condiciones climáticas pueden incrementar la sensibilidad del sistema y amplificar sus efectos potenciales.

En la situación actual, la Ruta Provincial N° 17 presenta una vulnerabilidad elevada frente a eventos hidrometeorológicos y térmicos extremos. Esta condición se encuentra asociada principalmente a limitaciones en la capacidad hidráulica y estructural de la infraestructura existente, evidenciadas por la recurrencia de anegamientos e interrupciones de la transitabilidad registradas en puntos críticos

como el cruce del arroyo Piray Miní. Asimismo, la interacción de la traza con sectores de topografía accidentada, frentes de corte en roca y áreas próximas a cursos de agua incrementa su susceptibilidad frente a excedentes hídricos y dinámicas geológicas, favoreciendo la ocurrencia de afectaciones funcionales.

Desde el punto de vista físico, la vulnerabilidad de la infraestructura está determinada por las características de sus distintos componentes:

- Obras de Paso y Cruces Hidráulicos: El puente existente sobre el arroyo Piray Miní constituye un elemento críticamente sensible debido a que la cota actual de su tablero y su antigüedad estructural limitan su capacidad hidráulica, favoreciendo el anegamiento completo y la interrupción del flujo vehicular ante crecidas del curso de agua.
- Obras de Drenaje: Las alcantarillas y cunetas longitudinales presentan una pérdida de eficiencia operativa debido a su susceptibilidad a la colmatación y obstrucción por sedimentos o material vegetal, lo que reduce su sección útil de escurrimiento y propicia la acumulación de agua sobre la calzada.
- Taludes, Banquinas y Terraplenes: En el tramo de ejecución de la tercera trocha (progresivas 36+280 a 40+780), los taludes de corte en roca basáltica presentan susceptibilidad a procesos de meteorización y desprendimientos localizados de bloques por discontinuidades estructurales. Por su parte, las banquetas erosionadas o descalzadas muestran una alta sensibilidad a procesos de socavación bajo condiciones de saturación hídrica.
- Estructura del Pavimento: La capa de rodamiento y la estructura asfáltica proyectada poseen una sensibilidad intrínseca a la acción combinada de la humedad, las variaciones térmicas y las altas temperaturas estivales, factores que aceleran los procesos de envejecimiento de los ligantes, propician deformaciones superficiales (ahuellamientos) y reducen su vida útil.

La vulnerabilidad funcional del proyecto se encuentra asociada al rol estratégico que cumple la Ruta Provincial N° 17 en la conectividad territorial de la provincia de Misiones. Al ser un corredor bioceánico clave que vincula el Alto Paraná con la frontera internacional (Bernardo de Irigoyen), existe una elevada dependencia de esta infraestructura para la movilidad de personas, el transporte internacional de cargas, la producción local y el acceso a servicios esenciales de salud y seguridad.

La limitada redundancia de alternativas viales pavimentadas y directas en la región incrementa la sensibilidad del sistema de transporte frente a eventuales afectaciones de la transitabilidad en la RP 17. Cualquier interrupción prolongada en la

traza obliga al desvío de flujos a través de rutas de menores prestaciones funcionales o recorridos considerablemente más extensos, amplificando los impactos económicos y operativos sobre el territorio.

Desde el punto de vista social y ambiental, la vulnerabilidad también se encuentra vinculada a las características del entorno de la traza. En los sectores rurales y periurbanos del área de influencia directa, las actividades productivas y el abastecimiento de agua de las poblaciones locales dependen fuertemente de perforaciones individuales y captaciones de vertientes superficiales, lo que incrementa su sensibilidad y exposición frente a períodos de sequía o déficit hídrico prolongado.

Asimismo, la estabilidad de los suelos y taludes adyacentes a la ruta depende directamente de la cobertura vegetal y forestal nativa. La degradación de estos ecosistemas debido a la presión antrópica, procesos erosivos o la ocurrencia de incendios rurales durante temporadas secas aumenta de forma directa la susceptibilidad de la infraestructura vial frente a procesos de inestabilidad geotécnica y escorrentía superficial descontrolada.

En este contexto, el cambio climático actúa como un factor amplificador de vulnerabilidades preexistentes. El incremento proyectado de la variabilidad climática en la región, manifestado a través de la intensificación de las precipitaciones extremas, el aumento de la temperatura media estival, la recurrencia de olas de calor y la alternancia con períodos secos más prolongados, exacerbará las limitaciones de diseño de la infraestructura actual. Estas variaciones proyectadas incrementarán la sensibilidad del sistema vial, potenciando la frecuencia de las afectaciones sobre la conectividad, reduciendo los márgenes de seguridad vial y acelerando el deterioro de los componentes físicos y funcionales del proyecto.

4.4. Respuesta del Sistema y Capacidad de Adaptación

El análisis del sistema y su capacidad de adaptación permite evaluar la respuesta integral de la infraestructura vial, los usuarios y los servicios críticos frente a las amenazas climáticas identificadas, considerando tanto la situación actual como las mejoras esperadas con la implementación del proyecto. Este enfoque complementa los análisis de exposición y vulnerabilidad, al identificar fortalezas, debilidades y brechas en la resiliencia funcional del sistema.

Situación actual del sistema

La capacidad de adaptación actual del sistema en el corredor de la Ruta Provincial N° 17 es limitada. Esto se debe principalmente a la obsolescencia estructural e insuficiencia hidráulica del puente existente sobre el arroyo Piray Mini, las restricciones físicas de la calzada para el flujo de carga pesada en zonas de fuerte pendiente, y la marcada dependencia regional de esta traza como corredor bioceánico estratégico. Al no contar con sistemas de alerta temprana hidrológica ni con mecanismos sistemáticos de monitoreo preventivo en los frentes de corte geotécnicos, la respuesta actual ante eventos extremos (como crecidas extraordinarias o desprendimientos de bloques) es predominantemente reactiva, enfocándose en la interrupción del tránsito por seguridad y en intervenciones de reparación posteriores al desastre.

Brechas de adaptación

El análisis identifica brechas clave que limitan la resiliencia del sistema actual de la RP 17:

- **Vulnerabilidad crítica en nodos hidráulicos mayores:** Interrupciones recurrentes de la transitabilidad y aislamiento temporal del corredor debido al anegamiento del tablero del puente actual sobre el arroyo Piray Mini durante crecidas.
- **Restricciones de capacidad y seguridad en pendientes:** Falta de carriles adicionales (terceras trochas) en sectores de topografía accidentada, lo que reduce la capacidad de maniobra y la resiliencia operativa del flujo vehicular (especialmente transporte pesado) ante calzadas húmedas o visibilidad reducida por niebla.
- **Deficiencias en los sistemas de drenaje lateral:** Limitaciones en la sección y mantenimiento de alcantarillas y cunetas, propensas a la colmatación por arrastre de sedimentos y biomasa, lo que genera escurrimientos descontrolados sobre el pavimento.
- **Dependencia de conectividad internacional y regional:** Rol crítico de la traza para el transporte bioceánico y el abastecimiento de localidades hasta Bernardo de Irigoyen, operando con una redundancia vial limitada o ineficiente (desvíos extensos por rutas de menor jerarquía).
- **Gestión operativa de carácter reactivo:** Ausencia de protocolos de mantenimiento predictivo basados en proyecciones climáticas y falta de estabilización sistemática en frentes de corte propensos a la meteorización.

Estas brechas limitan la capacidad del sistema para anticipar, absorber y recuperarse de eventos climáticos extremos, reduciendo su resiliencia frente a los escenarios de cambio climático proyectados para la región del Alto Paraná.

Rol del proyecto en la mejora de la adaptación

La implementación del proyecto permitirá fortalecer significativamente la capacidad de adaptación del sistema vial mediante intervenciones estructurales estratégicas. La construcción del nuevo puente sobre el arroyo Piray Mini, diseñado con una cota de tablero adaptada a los nuevos escenarios de crecidas extraordinarias, erradicará el principal punto de corte hidráulico del corredor. Asimismo, la incorporación de las terceras trochas y la rehabilitación de la calzada principal aumentarán la seguridad vial, la fluidez y la estabilidad estructural de la traza en zonas de alta pendiente y cortes de roca.

Estas obras civiles mitigarán la frecuencia y duración de las interrupciones del servicio, garantizando la conectividad internacional, el transporte de la producción foresto-industrial y el acceso ininterrumpido de las poblaciones locales a centros de salud y servicios esenciales.

Complementariamente, el proyecto promueve la adopción de programas de mantenimiento adaptativo para el sistema de drenaje (limpieza y adecuación de alcantarillas) y el monitoreo de taludes. Esto permitirá fortalecer la resiliencia operativa y la capacidad de respuesta, impulsando una transición desde un esquema de gestión vial puramente reactivo hacia un modelo preventivo, preparado para absorber los impactos de la variabilidad climática presente y futura.

4.5. Riesgos por etapas del Proyecto

El análisis de los riesgos climáticos del proyecto considera la manera en que las amenazas identificadas —principalmente precipitaciones extremas, inundaciones, erosión, inestabilidad de suelos, olas de calor y eventos hidrometeorológicos severos— pueden afectar el desempeño de la infraestructura vial a lo largo de sus distintas etapas: construcción, operación y mantenimiento. Estos riesgos comprenden tanto afectaciones físicas sobre la infraestructura como impactos operativos, funcionales y económicos vinculados a la ejecución de las obras, la continuidad del servicio y la sostenibilidad del corredor vial en el tiempo.

Dado el contexto climático regional y los antecedentes de afectación registrados sobre la Ruta Provincial N.º 17, particularmente en sectores asociados al arroyo Piray Mini, se reconoce la existencia de un riesgo residual asociado a eventos extremos cuya magnitud podría superar las condiciones de diseño y respuesta previstas para la infraestructura.

4.5.1. Etapas de construcción

Durante la etapa de construcción, los riesgos climáticos se encuentran asociados exclusivamente a la exposición directa de las actividades de obra frente a condiciones meteorológicas adversas y eventos extremos. Estos factores poseen un potencial crítico para desestabilizar la planificación, alterar la ejecución cronológica, incrementar los costos operativos y comprometer las especificaciones técnicas de calidad y seguridad vial en los trabajos de la Ruta Provincial N° 17.

Las precipitaciones intensas constituyen el factor de riesgo con mayor frecuencia de ocurrencia e impacto directo sobre la obra. Su manifestación genera interrupciones prolongadas en el cronograma de trabajo, dificulta de manera crítica los movimientos de suelo y compromete la ventana óptima para la ejecución de excavaciones, compactaciones y conformación de terraplenes o capas estructurales de la calzada (subbase y base). La saturación hídrica de los materiales sueltos altera sus propiedades geotécnicas, lo que introduce el riesgo latente de fallas por asentamiento, pérdida de capacidad portante y la necesidad de incurrir en costosos reprocesos de remoción y reestabilización.

Las inundaciones y los anegamientos temporarios representan la amenaza de mayor severidad, localizándose el riesgo crítico en las áreas de topografía baja y en los sectores adyacentes a los cursos de agua, con especial énfasis en el nodo de demolición y reconstrucción del puente sobre el arroyo Piray Mini. La ocurrencia de crecidas extraordinarias e intempestivas del arroyo genera el riesgo de anegamiento de frentes de obra activos, destrucción de ataguías, pérdida de encofrados, daños estructurales en elementos de hormigón en proceso de fraguado y la severa erosión de los accesos. Asimismo, los desvíos provisorios y caminos auxiliares destinados a mantener la conectividad del tránsito regional e internacional quedan expuestos a la pérdida de transitabilidad por socavación, aislando los frentes de trabajo y deteniendo el suministro de insumos. Adicionalmente, el escurrimiento superficial acelerado sobre la topografía accidentada incrementa el riesgo de inestabilidad y desprendimientos

de bloques en los frentes de corte en roca basáltica (sectores de terceras trochas y Cerro 60), comprometiendo la seguridad de operarios y maquinarias pesadas.

Por otra parte, las altas temperaturas extremas y las olas de calor configuran un escenario de riesgo térmico continuo durante la época estival. Esta amenaza incide directamente en el rendimiento psicofísico del personal de obra, elevando los índices de estrés térmico y la probabilidad de accidentes laborales. Desde una perspectiva puramente técnica, el calor extremo acelera la evaporación del agua de amasado en los hormigones destinados a alcantarillas y obras de arte, induciendo fisuraciones por retracción plástica. De igual modo, afecta negativamente el comportamiento de las mezclas asfálticas durante las tareas de pavimentación y construcción de las terceras trochas, impidiendo su correcta compactación al alterar los tiempos de enfriamiento y consolidación del ligante bituminoso.

Finalmente, los períodos de sequías introducen riesgos de desabastecimiento operativo. La escasez de agua limita severamente la capacidad de ejecutar tareas esenciales como la humectación de suelos para compactación y la mitigación de polvo en suspensión en zonas urbanas y rurales. Esta restricción en la disponibilidad de fuentes de agua genera un escenario de competencia por el recurso, afectando potencialmente el suministro de las poblaciones locales y de las actividades foresto-industriales dependientes del mismo entorno hidrogeológico.

En su conjunto, la interacción de estas amenazas climáticas con la fase constructiva expone al proyecto a un escenario de vulnerabilidad temporal caracterizado por retrasos acumulativos en los plazos de entrega, restricciones severas en la capacidad operativa de las empresas contratistas, limitaciones logísticas y sobrecostos financieros derivados de la reparación de daños materiales.

4.5.2. Etapa de operación y mantenimiento

Durante la etapa de operación y mantenimiento, los riesgos climáticos se manifiestan de manera directa a través de afectaciones sobre la integridad física de los componentes viales, la interrupción de la continuidad del servicio en un corredor bioceánico estratégico y el incremento crítico de las necesidades de conservación requeridas para sostener la funcionalidad de la traza a lo largo de su vida útil.

Las precipitaciones intensas y las inundaciones extraordinarias configuran las amenazas de mayor severidad estructural y operativa. El principal riesgo se focaliza en el nodo del arroyo Piray Miní donde, a pesar de las mejoras proyectadas, eventos

hidrológicos extremos que superen las luces de diseño exponen al sistema al riesgo de anegamiento del tablero, socavación de estribos y pilas, y el consecuente corte total de la conectividad internacional. En el resto de la traza, el escurrimiento superficial severo introduce el riesgo de colmatación acelerada de alcantarillas y cunetas por arrastre de sedimentos y biomasa forestal, derivando en desbordes que lavan el material de las banquetas, erosionan los terraplenes y provocan la acumulación de agua sobre la calzada, lo que degrada la seguridad vial por pérdida de fricción y riesgo de hidroplaneo.

Por otra parte, las altas temperaturas y los extremos térmicos estivales representan un riesgo continuo para la estructura física del pavimento. La exposición prolongada al calor extremo acelera el envejecimiento de los ligantes bituminosos, induciendo procesos de fisuración térmica y deformaciones plásticas irreversibles (ahuellamientos), especialmente en los carriles de las terceras trochas donde el tránsito pesado de carga internacional circula a bajas velocidades y ejerce mayores presiones de contacto. Asimismo, la alternancia cíclica entre períodos de severa sequía y lluvias torrenciales exacerba la inestabilidad de los taludes de corte en roca basáltica (como en el sector del Cerro 60), donde la meteorización diferencial del macizo rocoso incrementa el riesgo latente de desprendimientos de bloques hacia la calzada, obstruyendo carriles y amenazando directamente a los usuarios.

Los períodos prolongados de déficit hídrico y sequía generan, además, impactos indirectos de alta criticidad en el entorno rural y periurbano del proyecto. La combinación de baja humedad relativa, estrés hídrico de la vegetación implantada y nativa, y altas temperaturas incrementa de forma exponencial el riesgo de incendios rurales y forestales en las márgenes de la traza. Estos eventos no solo destruyen la cobertura vegetal que estabiliza los suelos de los taludes frente a futuras lluvias, sino que generan densas columnas de humo que anulan la visibilidad sobre la ruta, forzando la interrupción del flujo vehicular por razones de seguridad. Adicionalmente, las sequías agudizan la vulnerabilidad por subsidencia o agrietamiento de suelos arcillosos de la subrasante en tramos específicos, afectando la regularidad longitudinal del pavimento.

Finalmente, la ocurrencia de estos eventos extremos altera por completo la programación regular de las actividades de mantenimiento de la Dirección Provincial de Vialidad, traduciéndose en una degradación temporal del nivel de servicio, mayores exigencias logísticas e incrementos imprevistos en los costos operativos debido a la necesidad de ejecutar reparaciones de emergencia. Si bien el sistema vial regional



Consultores
del Guayrá S.R.L.

**Estudios Ambientales y Sociales en el marco del
proyecto de Construcción del Puente sobre
Arroyo Piray Mini, Rehabilitación de la Ruta
Provincial N°17 y Obras Complementarias**

cuenta con conexiones alternativas, la limitada redundancia de vías pavimentadas directas hacia la frontera en Bernardo de Irigoyen provoca que cualquier interrupción temporal en la RP 17 fuerce desvíos kilométricos ineficientes, generando severas restricciones operativas para el transporte internacional de cargas, pérdidas económicas para la producción foresto-industrial y el aislamiento temporario de las comunidades locales del Alto Paraná.

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

5. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN Y RESILIENCIA

La estrategia de adaptación y resiliencia del proyecto se centra en fortalecer la capacidad del sistema vial y de las comunidades del área de influencia directa del corredor de la Ruta Provincial N° 17 frente a las amenazas climáticas identificadas, priorizando precipitaciones extremas, inundaciones por crecidas extraordinarias, extremos térmicos y procesos de inestabilidad y desprendimiento en taludes rocosos. El análisis previo de exposición, vulnerabilidad y respuesta del sistema permitió identificar riesgos críticos y brechas de adaptación que requieren intervención estructural, operativa y de mantenimiento a lo largo de la traza.

La estrategia se basa en un enfoque integrado que combina intervenciones sobre la infraestructura con medidas de gestión del riesgo y fortalecimiento operativo continuo.

5.1. Matriz de riesgos climáticos

A partir del diagnóstico realizado, se identificaron y priorizaron las principales amenazas climáticas que podrían afectar el desempeño de la Ruta Provincial N° 17, considerando su probabilidad de ocurrencia y las potenciales consecuencias sobre la infraestructura vial, los usuarios, los servicios asociados y la continuidad operativa de este corredor bioceánico estratégico.

El nivel de riesgo asignado a cada amenaza resulta de la combinación entre la magnitud de la amenaza climática, el nivel de exposición de los elementos potencialmente afectados y su vulnerabilidad física y funcional. La clasificación final se expresa mediante categorías cualitativas derivadas de la evaluación de probabilidad e impacto.

Los resultados del análisis de riesgo, junto con las proyecciones climáticas, la evaluación de vulnerabilidad y la identificación de brechas de adaptación, constituyeron insumos fundamentales para la formulación del proyecto y la definición de las medidas de resiliencia incorporadas. En este sentido, las amenazas identificadas no fueron consideradas únicamente como riesgos a gestionar durante la etapa de operación, sino también como condicionantes críticos para el diseño, dimensionamiento y planificación de las intervenciones propuestas.

En consecuencia, las decisiones de diseño vinculadas al nuevo dimensionamiento hidráulico del puente sobre el arroyo Piray Mini, la adecuación de la cota de tablero, el diseño geométrico y estructural de las terceras trochas, la

estabilización de los taludes en roca basáltica (sectores de corte como el Cerro 60) y la planificación de las actividades de mantenimiento adaptativo fueron concebidas para reducir la vulnerabilidad de la infraestructura y fortalecer su resiliencia frente a las condiciones climáticas actuales y futuras. Esto responde particularmente al incremento proyectado de las precipitaciones extremas, las inundaciones por crecidas extraordinarias, la meteorización diferencial de los macizos rocosos y los eventos de altas temperaturas estivales.

La siguiente matriz resume las principales amenazas climáticas identificadas para la Ruta Provincial N° 17, el nivel de riesgo asociado y las medidas de adaptación incorporadas al proyecto para fortalecer la resiliencia de la infraestructura vial.

Tabla 5. Matriz de Riesgos Climáticos.

Amenaza Climática	Riesgo Específico	Etapas	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo	Tipo de Impacto	Justificación / Observaciones
Lluvias intensas	Interrupciones en la ejecución de obra	Construcción	Alta	Alto	Alto	Operativo	Afectan cronograma, movimiento de suelos, excavaciones y compactación de base/subbase.
Lluvias intensas	Sobrecarga de drenajes, anegamientos e incremento de requerimientos de mantenimiento	Operación y mantenimiento	Alta	Muy alto	Crítico	Físico y operativo	Los excedentes hídricos pluviales superan la capacidad hidráulica de alcantarillas y cunetas en zonas accidentadas, aumentando la limpieza y desembanque.
Inundaciones	Daños en frentes de obra	Construcción	Media-Alta	Alto	Alto	Físico	Afectación directa en zonas bajas, desvíos temporarios y en la ejecución del nuevo puente sobre el arroyo Piray Miní.
Inundaciones	Cortes de la vía, pérdida de transitabilidad e intervenciones de emergencia	Operación y mantenimiento	Alta	Muy alto	Crítico	Funcional y operativo	Desbordes históricos en el arroyo Piray Miní que interrumpen el corredor bioceánico de cargas, aislando la región y exigiendo reparaciones urgentes.

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Amenaza Climática	Riesgo Específico	Etapas	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo	Tipo de Impacto	Justificación / Observaciones
Deslizamientos / erosión	Inestabilidad de taludes y caída de material	Construcción	Media-Alta	Alto	Alto	Físico	Saturación de suelos y riesgo de desprendimiento de bloques en frentes de corte en roca (ej. Cerro 60) durante las obras de terceras trochas.
Deslizamientos / erosión	Erosión, socavación de infraestructura e incremento de intervenciones correctivas	Operación y mantenimiento	Media-Alta	Alto	Alto	Físico y operativo	Lavado de material lateral por escurrimientos acelerados debido a la topografía, demandando estabilización de taludes, protección de estribos y bacheo profundo.
Olas de calor	Afectación a condiciones laborales	Construcción	Alta	Medio	Medio-Alto	Operativo	Restricciones operativas, modificaciones de jornadas y riesgos para el personal ante las altas temperaturas estivales de la región.
Olas de calor	Deterioro del pavimento y aumento de requerimientos de conservación	Operación y mantenimiento	Media	Alto	Alto	Físico y operativo	Riesgo de deformaciones plásticas (ahuellamiento) por tránsito lento de carga pesada en terceras trochas, fisuración por retracción y alteración del fraguado.
Vientos intensos	Caída de árboles, afectación de señalización y	Operación y mantenimiento	Media	Medio	Moderado	Funcional y operativo	Obstrucción de la traza por caída de ejemplares de la selva paranaense y daños en

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Amenaza Climática	Riesgo Específico	Etapas	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo	Tipo de Impacto	Justificación / Observaciones
	obstrucción de la calzada						cartelería, requiriendo cuadrillas imprevistas de despeje.
Sequías / variabilidad climática	Restricciones temporales en la disponibilidad de agua para la construcción y comunidades locales	Construcción	Media	Medio	Moderado	Operativo y social	La menor disponibilidad hídrica afecta las tareas de obra y aumenta la competencia por el recurso con el sector foresto-industrial y colonias rurales.
Sequías / variabilidad climática	Fisuración de suelos y pavimento, e incremento de la susceptibilidad a procesos erosivos	Operación y mantenimiento	Baja-Moderada	Medio	Bajo-Moderado	Físico	Desecamiento y pérdida de la cobertura vegetal estabilizadora en banquetas y taludes, aumentando el riesgo de degradación ante lluvias posteriores.
Incendios (asociados a sequías)	Afectación de banquetas, vegetación y condiciones operativas de la vía	Operación y mantenimiento	Baja-Moderada	Alto	Alto	Físico, funcional y operativo	Destrucción de la matriz vegetal protectora del derecho de vía y densas columnas de humo que anulan la visibilidad, forzando el corte total del tránsito por seguridad.

Fuente: Elaboración propia.

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Esta priorización permite focalizar las medidas de adaptación sobre los riesgos climáticos de nivel alto y crítico en el corredor, especialmente aquellos derivados de precipitaciones extremas, inundaciones, procesos de erosión hídrica e incendios forestales/rurales que comprometen la integridad estructural de la infraestructura y la continuidad operativa de la Ruta Provincial N° 17.

5.2. Medidas de adaptación

La estrategia de adaptación de este Plan responde a un principio de causalidad técnica: cada amenaza climática identificada localmente cuenta con una correspondencia directa en las soluciones de diseño e ingeniería civil financiadas por el proyecto.

Las proyecciones de precipitaciones extremas obtenidas mediante la modelación de seis modelos CMIP6 (IPCC, 2021) y tres escenarios SSP (1-2.6, 2-4.5 y 5-8.5) indican incrementos de hasta un 22% en los caudales de las alcantarillas y del 25% en la cuenca del arroyo Piray Mini. Estas variables no se consideran riesgos residuales pasivos, sino que han determinado la reingeniería de la infraestructura: el nuevo puente se diseña para un caudal para 100 años de recurrencia (Q100) más un metro de revancha, verificado ante un escenario para un caudal para 200 años de recurrencia (Q200) bajo efectos de cambio climático, mientras que el sistema de alcantarillas se redimensionó para garantizar flujo libre ante un caudal para 50 años de recurrencia (Q50).

Tabla 6. Trazabilidad entre amenazas climáticas y respuestas de diseño.

Amenaza / brecha	Evidencia	Impacto potencial sobre la infraestructura	Respuesta incorporada al diseño
Precipitaciones extremas	Proyecciones locales y registros de anegamientos recurrentes en la traza.	Sobrecarga de obras hidráulicas, erosión hídrica acelerada y anegamientos sobre calzada.	Redimensionamiento de alcantarillas y sistemas de drenaje longitudinal; optimización de cunetas y obras de descarga adaptadas a la topografía accidentada.
Inundaciones temporarias	Historial de desbordes	Interrupción de la transitabilidad del corredor	Elevación de rasante en puntos críticos y

Amenaza / brecha	Evidencia	Impacto potencial sobre la infraestructura	Respuesta incorporada al diseño
	hidrológicos en cuencas de la región y sectores bajos de la ruta.	bioceánico de cargas y desvíos operativos.	construcción del nuevo puente sobre el arroyo Piray Mini con mayor luz y altura hidráulica.
Erosión, socavación e inestabilidad de taludes	Topografía accidentada, suelos saturados y frentes de corte expuestos.	Deterioro de banquetas, socavación de obras de arte e inestabilidad/desprendimientos en taludes de roca.	Protección, peinado y estabilización de taludes de corte (ej. sectores de terceras trochas como Cerro 60), control de erosión mediante obras geotécnicas y recomposición de banquetas.
Altas temperaturas y olas de calor	Incremento térmico proyectado para la región y eventos estivales extremos.	Mayor deterioro por deformaciones plásticas (ahuellamiento) ante tránsito pesado lento, fisuración y restricciones en el fraguado.	Mezclas asfálticas y estructura de pavimento adaptadas a las exigencias térmicas y de carga del proyecto (terceras trochas); protocolos para el colado de hormigones estructurales y trabajo seguro.
Vientos intensos y caída de vegetación	Tormentas severas recurrentes en la región y dinámica forestal nativa.	Obstrucción de calzada por caída de ejemplares de la selva paranaense y daños en la señalización vial.	Gestión preventiva de la vegetación en la zona de camino (derecho de vía) y protocolos de respuesta rápida para despeje y reposición de cartelería.
Sequías y períodos secos prolongados	Episodios regionales de déficit hídrico	Restricciones en la disponibilidad de agua para obra, desecamiento de suelos	Gestión preventiva del recurso hídrico, identificación de

Amenaza / brecha	Evidencia	Impacto potencial sobre la infraestructura	Respuesta incorporada al diseño
	y aumento de la variabilidad climática.	e incremento de la competencia con el sector foresto-industrial.	fuentes autorizadas de abastecimiento superficial/subterráneo y pautas de uso eficiente del agua en la etapa constructiva.
Incendios asociados a períodos secos y altas temperaturas	Incremento del índice de peligrosidad de incendios rurales y forestales durante sequías.	Pérdida de cobertura vegetal estabilizadora en márgenes y anulación de la visibilidad por columnas de humo.	Plan de contingencia ante incendios, fajas de gestión preventiva de la biomasa en banquetas y protocolos de emergencia coordinados para cortes por falta de visibilidad.

Medidas estructurales

Las medidas estructurales constituyen el componente principal de la estrategia de reducción del riesgo de desastres y de adaptación al cambio climático del proyecto, al estar orientadas a disminuir la vulnerabilidad física de la Ruta Provincial N.º 17 frente a precipitaciones intensas, inundaciones, procesos erosivos e inestabilidad de suelos. Estas intervenciones incorporan criterios de resiliencia climática en el diseño de la infraestructura, considerando escenarios de mayor intensidad y frecuencia de eventos hidrometeorológicos y mayores exigencias hidráulicas durante la vida útil del corredor.

En este marco, el proyecto contempla la rehabilitación integral de la calzada, mejoras geométricas y la adecuación de las obras hidráulicas a lo largo del corredor Eldorado–Pozo Azul, con el propósito de incrementar la capacidad de respuesta de la infraestructura frente a eventos extremos y asegurar la continuidad operativa de la vía. Particular relevancia adquiere la adecuación del sistema de drenaje longitudinal y transversal mediante la sustitución y reconstrucción de las alcantarillas críticas identificadas en el perfil longitudinal del trazado, actualmente en condiciones deficientes y con capacidad hidráulica insuficiente frente a los nuevos escenarios

hidrológicos. Estas obras permitirán optimizar el escurrimiento superficial, incrementar la capacidad de evacuación de excedentes hídricos, garantizar una revancha mínima de diseño para el paso de detritos y reducir drásticamente la probabilidad de anegamientos, socavaciones y deterioro prematuro de la estructura del pavimento.

Asimismo, el proyecto incorpora medidas específicas de estabilización y protección de taludes, especialmente en los sectores con pendientes naturales pronunciadas y en los tramos donde se ejecutarán las terceras trochas para el tránsito pesado (progresivas 36+280 a 40+780, incluyendo el sector de corte en roca basáltica del Cerro 60). Mediante estudios geotécnicos específicos, se contempla la implementación de soluciones de ingeniería adaptadas a las discontinuidades del macizo rocoso, tales como el peinado de taludes, mallas de contención de alta resistencia, pernos de anclaje y sistemas de drenaje de subsuperficie. Estas intervenciones, complementadas con acciones de control de erosión hídrica en las descargas y la revegetación de los terraplenes mediante especies nativas, contribuirán a disminuir la ocurrencia de procesos de remoción en masa, desprendimiento de bloques y pérdida de material asociada a la saturación hídrica.

Dentro de las obras estructurales previstas, la intervención de mayor relevancia estratégica corresponde a la demolición del puente existente y la construcción del nuevo puente sobre el arroyo Piray Mini, ubicado de manera crítica en el inicio del corredor en el departamento de Eldorado. En respuesta a las limitaciones hidráulicas e inundaciones recurrentes que históricamente han provocado el anegamiento del tablero y el corte total de la transitabilidad, el nuevo puente ha sido proyectado con una rasante significativamente elevada respecto de la actual y una sobreelevación de su estructura isostática. El nuevo diseño amplía sustancialmente la luz libre y el área de la sección hidráulica de escurrimiento, garantizando la revancha necesaria para absorber las crecidas extraordinarias proyectadas por el cambio climático y asegurando de forma ininterrumpida la conectividad de este corredor bioceánico de cargas.

Estas intervenciones constituyen la principal estrategia de reducción del riesgo para las amenazas de inundación, erosión y remoción en masa identificadas para el proyecto. Al tratarse de medidas incorporadas al propio diseño de la infraestructura, permiten disminuir de manera significativa la exposición y vulnerabilidad física del corredor, mientras que las acciones de monitoreo operativo, mantenimiento adaptativo y los protocolos de respuesta previstos en el presente Plan complementan

esta estrategia mediante la gestión del riesgo residual, fortaleciendo la seguridad vial, la continuidad del tránsito y la resiliencia territorial frente a la variabilidad climática regional.

Medidas No Estructurales

Por su parte, las medidas no estructurales se orientan a fortalecer la capacidad de gestión del riesgo, la operación del sistema y su sostenibilidad en el tiempo. Durante la etapa de operación y mantenimiento se prevé la implementación de un sistema de monitoreo climático que permita integrar información hidrometeorológica y anticipar condiciones de riesgo. Este sistema se complementa con el desarrollo de protocolos de actuación ante eventos extremos, definidos en coordinación entre los organismos viales y los municipios del corredor, con el objetivo de minimizar impactos sobre la transitabilidad, la seguridad vial y la continuidad del servicio.

Adicionalmente, se contempla la incorporación de señalización preventiva dinámica que permita advertir a los usuarios sobre condiciones adversas de la vía — incluyendo precipitaciones extremas, vientos fuertes o baja visibilidad por niebla e incendios—, así como la formalización de un plan de desvíos utilizando la Ruta Provincial N.º 20 como alternativa operativa para garantizar la conectividad ante inundaciones u otras afectaciones severas en el puente del arroyo Piray Miní. Esta medida se complementa con la coordinación entre la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) y las autoridades locales para asegurar el adecuado nivel de servicio de la ruta alternativa durante eventos extremos que afecten la Ruta Provincial N.º 17.

Asimismo, durante la operación y mantenimiento se implementará un programa de conservación preventiva orientado a sostener en el tiempo los beneficios de las intervenciones realizadas. En este sentido, el mantenimiento intensivo de los sistemas de drenaje longitudinal y transversal constituye una acción crítica y permanente, dado que la pérdida de capacidad hidráulica representa uno de los principales factores de riesgo identificados debido al arrastre de sedimentos y biomasa de la selva. Esta acción se complementa con la inspección periódica de puntos críticos, permitiendo la detección temprana de fallas y una gestión preventiva del riesgo, incluyendo el monitoreo de inestabilidad y desprendimientos en los frentes de corte en roca basáltica (como el sector de terceras trochas en el Cerro 60) y la fisuración del pavimento asociada a variaciones térmicas o condiciones de sequía.

De igual manera, se incorpora un plan de respuesta post-evento orientado a reducir los tiempos de recuperación del sistema luego de eventos extremos, así como

un programa de control de vegetación que cumple un doble rol: por un lado, actúa como medida preventiva frente a incendios forestales/rurales en el derecho de vía y eventos de vientos intensos, reduciendo el riesgo de obstrucciones por caída de árboles de la selva paranaense sobre la calzada, y, por otro, contribuye a la estabilidad de taludes y al correcto funcionamiento del drenaje.

Durante la etapa constructiva se incorporan además protocolos operativos específicos frente a olas de calor, incluyendo ajustes en los horarios de trabajo y medidas de seguridad laboral para el personal expuesto, así como un plan de contingencia ante incendios orientado a prevenir y gestionar eventos asociados a condiciones de sequía o altas temperaturas en las áreas de acopio y frentes de obra. Asimismo, se implementarán medidas de gestión preventiva del recurso hídrico, contemplando la identificación previa de fuentes autorizadas de abastecimiento de agua superficial y subterránea, la verificación de que su utilización no interfiera con el suministro destinado a las comunidades y colonias rurales locales o actividades del sector foresto-industrial y el monitoreo de la disponibilidad hídrica durante períodos secos. En situaciones de sequía o déficit hídrico se priorizará el uso eficiente del recurso, la programación de actividades con alto consumo de agua (como la compactación de subbases y el control de polvo) y la coordinación con las autoridades competentes para prevenir conflictos por el uso del recurso y asegurar la continuidad de las actividades de obra.

En conjunto, la combinación de medidas estructurales y no estructurales configura una estrategia integral de adaptación que aborda tanto los riesgos críticos asociados a lluvias intensas e inundaciones como aquellos de nivel de riesgo alto, medio o moderado, vinculados a olas de calor, deslizamientos de taludes, vientos intensos, sequías, restricciones temporales en la disponibilidad de agua e incendios. De esta manera, el proyecto no solo reduce la vulnerabilidad de la infraestructura, sino que también fortalece la capacidad de respuesta, recuperación y gestión adaptativa del sistema, permitiendo evolucionar desde un esquema reactivo hacia un enfoque proactivo de resiliencia climática.

No obstante, bajo escenarios de cambio climático caracterizados por una mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos, es posible que se presenten condiciones que excedan los parámetros de diseño de la infraestructura. En este contexto, el proyecto no elimina completamente los riesgos climáticos, sino que reduce su probabilidad de ocurrencia y sus impactos, configurando un escenario de

riesgo residual que deberá ser gestionado mediante estrategias de monitoreo, mantenimiento y mejora continua.

5.3. Plan de implementación y trazabilidad

La implementación de las medidas de adaptación se articula a lo largo de las etapas de construcción, operación y mantenimiento del proyecto, con responsables definidos y seguimiento mediante indicadores de desempeño (KPIs).

Tabla 7. Tabla de implementación y trazabilidad de las medidas de adaptación.

Riesgo Climático	Medida de Adaptación	Tipo de Medida	Etapas	Responsable	KPI / Indicador	Frecuencia
Lluvias intensas / Inundaciones	Adecuación de drenajes transversales y longitudinales (alcantarillas críticas y cunetas)	Estructural	Construcción	Contratista / DPV	% de drenajes ejecutados según diseño	Mensual (obra)
Lluvias intensas / Inundaciones	Construcción de nuevo puente sobreelevado sobre el arroyo Piray Mini y adecuación de rasante en puntos bajos	Estructural	Construcción	Proyecto / Dirección de Obra	Nº de sectores críticos intervenidos; % de avance físico de la estructura del puente	Mensual (obra)
Deslizamientos / erosión	Estabilización y peinado de taludes de corte en roca basáltica (mallas, pernos de anclaje)	Estructural	Construcción	Contratista	% de taludes estabilizados en sectores de terceras trochas (Cerro 60)	Mensual (obra)
Deslizamientos / erosión	Control de erosión hídrica en descargas y revegetación de terraplenes	Estructural	Construcción	Contratista	Nº de intervenciones ejecutadas; superficie revegetada con especies nativas	Mensual (obra)
Lluvias intensas / eventos extremos	Sistema de monitoreo climático e hidrometeorológico	No estructural	Operación y Mantenimiento	Gobierno Provincial	Sistema operativo (Sí/No)	Trimestral

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Riesgo Climático	Medida de Adaptación	Tipo de Medida	Etapas	Responsable	KPI / Indicador	Frecuencia
Eventos extremos	Protocolos de actuación ante emergencias climáticas	No estructural	Operación y Mantenimiento	DPV / Municipio	Nº de protocolos implementados y actualizados	Anual
Inundaciones / cortes de tránsito	Plan de desvíos y bypass operativo (uso de Ruta Provincial N.º 20)	No estructural	Operación y Mantenimiento	Gobierno Provincial / DPV	Tiempo de activación de desvíos y control de tránsito	Por evento
Vientos intensos / Baja visibilidad	Señalización preventiva dinámica (alertas por viento, niebla e incendios)	No estructural	Operación y Mantenimiento	DPV	% de tramos señalizados y operativos	Semestral
Vientos intensos / tormentas / incendios	Control preventivo de vegetación y fajas de biomasa en derecho de vía	No estructural	Operación y Mantenimiento	DPV	% de tramos con vegetación controlada lindantes a la selva paranaense	Semestral
Lluvias intensas / Inundaciones	Mantenimiento intensivo y desembanque de drenajes (remoción de sedimentos y biomasa)	No estructural	Operación y Mantenimiento	DPV	Frecuencia de limpieza y porcentaje de drenajes operativos	Mensual / Post-evento
Deslizamientos / erosión	Inspección periódica de puntos críticos y estabilidad de frentes rocosos	No estructural	Operación y Mantenimiento	DPV	Nº de inspecciones geotécnicas realizadas	Trimestral

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Riesgo Climático	Medida de Adaptación	Tipo de Medida	Etapas	Responsable	KPI / Indicador	Frecuencia
Eventos extremos	Plan de respuesta post-evento para habilitación de la traza	No estructural	Operación y Mantenimiento	DPV / Municipio	Tiempo de restitución del servicio en el corredor	Por evento
Sequías / variabilidad climática	Gestión preventiva y uso eficiente del recurso hídrico en frentes de obra	No estructural	Construcción	Contratista / Inspección Ambiental	Nº de eventos de restricción de captación; disponibilidad de fuentes autorizadas; Nº de reclamos vinculados al uso del agua (entorno rural/foresto-industrial)	Mensual y durante períodos secos
Olas de calor	Protocolos operativos para trabajo en condiciones de calor extremo	No estructural	Construcción	Contratista	Nº de incidentes asociados a estrés térmico; % de personal capacitado; Nº de jornadas con medidas preventivas activadas	Mensual durante temporada cálida
Olas de calor / Sequías	Monitoreo de fisuración del pavimento y deformaciones plásticas	No estructural	Operación y Mantenimiento	DPV	Nº de inspecciones realizadas; longitud de fisuras/deformaciones	Trimestral

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña



**Estudios Ambientales y Sociales en el marco del
proyecto de Construcción del Puente sobre
Arroyo Piray Mini, Rehabilitación de la Ruta
Provincial N°17 y Obras Complementarias**

Riesgo Climático	Medida de Adaptación	Tipo de Medida	Etapas	Responsable	KPI / Indicador	Frecuencia
	(ahuellamiento) en terceras trochas				s detectadas y reparadas	
Incendios asociados a sequías	Plan de contingencia, prevención y respuesta rápida ante incendios forestales/rurales	No estructural	Construcción, Operación y Mantenimiento	Contratista / DPV / Municipio	Nº de simulacros realizados; tiempo de respuesta ante incidentes; Nº de eventos gestionados	Anual y por evento

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

5.4. Integración y resultados esperados

Con la implementación de la estrategia, se espera que la Ruta Provincial N° 17 mejore significativamente su desempeño frente a lluvias intensas, inundaciones, procesos erosivos y demás amenazas climáticas identificadas. La combinación de medidas estructurales y no estructurales permitirá:

- **Reducir la recurrencia de anegamientos y cortes de tránsito**, minimizando las interrupciones en los puntos históricamente vulnerables como el cruce del arroyo Piray Miní.
- **Mejorar la capacidad hidráulica y la estabilidad de la infraestructura**, protegiendo de forma prioritaria los taludes y frentes de corte en roca basáltica en las zonas de terceras trochas.
- **Garantizar la continuidad de la conectividad regional y el transporte internacional de cargas**, asegurando la operatividad ininterrumpida de este corredor bioceánico clave.
- **Minimizar riesgos para los usuarios y aumentar la seguridad vial**, atenuando los peligros asociados a la baja visibilidad por incendios o eventos de tormentas severas.
- **Fortalecer la resiliencia de las actividades foresto-industriales, productivas y de la población local** frente a la variabilidad climática y eventos extremos.

Asimismo, se espera mejorar las condiciones de gestión ambiental del corredor, reduciendo los procesos de erosión hídrica acelerada, controlando la biomasa de manera preventiva para mitigar incendios, y disminuyendo los riesgos de atropellamiento y fragmentación sobre la fauna silvestre nativa en los sectores ambientalmente sensibles de la selva paranaense.

De esta manera, la intervención no solo fortalece la infraestructura física, sino que contribuye al desarrollo de un corredor vial más resiliente, seguro y ambientalmente sostenible frente a los efectos actuales y futuros del cambio climático.

6. INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

El análisis de la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al proyecto, considerando sus distintas etapas, permite establecer una línea de base y evaluar el desempeño climático del proyecto en términos de mitigación, en línea con metodologías reconocidas internacionalmente.

6.1. ¿Qué es la Huella de Carbono?

La Huella de Carbono (HC) es un indicador ambiental que cuantifica la totalidad de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) liberadas a la atmósfera como consecuencia directa o indirecta de una actividad, proceso o producto. Se expresa habitualmente en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e), obtenido de cuantificar las cantidades de Dióxido de Carbono (CO_2), Metano (CH_4) y Óxido Nitroso (N_2O) en función de sus Potenciales de Calentamiento Global.

6.2. Metodología

La estimación de la huella de carbono del proyecto se realiza mediante un enfoque cuantitativo basado en metodologías internacionalmente reconocidas, principalmente las directrices del Intergovernmental Panel on Climate Change, el GHG Protocol y lineamientos aplicables del Banco Interamericano de Desarrollo para proyectos de infraestructura.

El cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se basa en la relación entre datos de actividad del proyecto y factores de emisión específicos, de acuerdo con la expresión general mostrada en la Ec. 1:

$$\text{Emisiones GEI} = FE * DA \text{ (Ec. 1)}$$

Donde:

- **Dato de actividad (DA):** representa el nivel de uso de recursos o procesos generadores de emisiones (por ejemplo, consumo de combustibles, volumen de materiales transportados, uso de maquinaria).

- **Factor de emisión (FE):** corresponde a la cantidad de GEI emitida por unidad de actividad, expresada generalmente en kg o tCO₂e por unidad de consumo.

El análisis considera el ciclo de vida del proyecto, abarcando principalmente las etapas de construcción y operación, donde se concentran las mayores fuentes de emisiones. En la etapa de construcción, se incluyen emisiones directas e indirectas asociadas al uso de maquinaria, transporte de materiales, producción de insumos y actividades de obra. En la etapa de operación, se consideran emisiones vinculadas al mantenimiento de la infraestructura y, cuando corresponde, variaciones en las condiciones de circulación que puedan influir en el consumo de combustible de los usuarios.

A efectos de estructurar el inventario, las emisiones se clasifican de acuerdo con criterios operativos equivalentes a los alcances definidos por el GHG Protocol:

- **Alcance 1 (Emisiones Directas):** Son aquellas liberadas *in situ* por fuentes que son propiedad o están controladas por la organización responsable del proyecto. Ejemplo: uso de combustibles fósiles en maquinaria y equipos propios del proyecto.
- **Alcance 2 (Emisiones Indirectas por Energía, según disponibilidad de información):** Emisiones generadas en la producción de la electricidad consumida por el proyecto. Aunque la emisión ocurre en la central eléctrica, el proyecto es responsable de ese consumo. Ejemplo: iluminación de obradores.
- **Alcance 3 (Otras Emisiones Indirectas, según disponibilidad de información):** Son consecuencia de las actividades del proyecto, pero ocurren en fuentes que no pertenecen ni son controladas por este. Es el alcance más complejo e incluye toda la cadena de valor. Ejemplo: la fabricación del asfalto en una planta externa y su transporte.

Asimismo, se adopta un enfoque comparativo entre escenarios:

- **Escenario Base o Business as Usual (BAU):** representa la evolución de las emisiones sin la implementación del proyecto.
- **Escenario con Proyecto:** incorpora las mejoras en la infraestructura y su impacto en la eficiencia operativa.

Esta comparación permite estimar el efecto neto del proyecto sobre la huella de carbono, identificando tanto incrementos asociados a la construcción como potenciales reducciones en la etapa operativa.

Finalmente, se reconoce que la estimación se encuentra sujeta a incertidumbres inherentes a la disponibilidad y calidad de los datos de actividad, por

lo que se prioriza un enfoque conservador y trazable, que permita su actualización en etapas posteriores mediante el sistema de monitoreo del proyecto.

6.3. Datos de Actividad y Factores de Emisión

Los datos de actividad (DA), son valores numéricos que permiten dimensionar la magnitud de las actividades que emiten y capturan GEI. A continuación, se detallan los datos clave clasificados por etapa y el alcance al que pertenecen:

Etapa de Construcción

1. **Consumo de Combustibles (Alcance 1):** Litros de gasoil/diésel utilizados por la maquinaria propia o controlada en el frente de obra (excavadoras, motoniveladoras).
2. **Cantidades de Materiales (Alcance 3):** Toneladas de mezcla asfáltica, cemento, áridos y acero. Las emisiones ocurren durante la fabricación de estos insumos en plantas ajenas.
3. **Logística y Transporte (Alcance 3):** Distancia recorrida (km) y tipo de vehículo para trasladar insumos desde la planta hasta el sitio de obra y transporte de operarios.
4. **Cambio de Uso de Suelo (Alcance 1):** Pérdida de carbono por remoción de vegetación en la traza directa de la ruta. Y ganancias de carbono por revegetación, tras la obra.

Etapa de Operación

1. **Censo de Tránsito - Tránsito Inducido (Alcance 3):** Emisiones de los vehículos de terceros que circulan por la ruta.
2. **Consumo Eléctrico (Alcance 2):** Energía de la red utilizada para la iluminación de accesos, peajes o señalización dinámica.
3. **Mantenimiento y Rehabilitación (Alcance 3):** Materiales y transporte necesarios para bacheos o repavimentaciones futuras.

Los factores de emisión utilizados provienen de fuentes reconocidas a nivel internacional y nacional, priorizando aquellos adaptados al contexto argentino cuando se encuentran disponibles, a fin de mejorar la representatividad de los resultados.



Consultores
del Guayrá S.R.L.

**Estudios Ambientales y Sociales en el marco del
proyecto de Construcción del Puente sobre
Arroyo Piray Mini, Rehabilitación de la Ruta
Provincial N°17 y Obras Complementarias**

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Tabla 8. Factores de emisión sugeridos para el proyecto.

Insumo/Actividad	Factor de emisión CO ₂	Factor de emisión CH ₄	Factor de emisión NO ₂	Fuente
Bitumen (Betún)	0,426 kg /kg	-	-	(White, Golden, Biligiri, & Kaloush, 2010)
Gasoil (Maquinaria)	74,1 kg/GJ	0,00415 kg/GJ	0,0286 kg/GJ	IPCC Guidelines Volumen 2 Capítulo 3. Tabla 3.3.1 (IPCC, 2006)
Nafta (Transporte)	69,3 kg/GJ	0,025 kg/GJ	0,008 kg/GJ	IPCC Guidelines Volumen 2 Capítulo 3. Tabla 3.2.1 y Tabla 3.2.2 (IPCC, 2006)
Cemento	527,52 kg CO ₂ /t	-	-	Factores de Emisión GEI, SINGEI-AR (2025)
Acero	1,58 t CO ₂ e / t	-	-	Factores de Emisión GEI, SINGEI-AR (2025)

Fuente: Elaboración propia.

6.4. Efecto sobre la Huella de Carbono en escenarios Business as Usual vs Escenario de Proyecto

En esta sección analizaremos de manera comparativa las emisiones generadas en un escenario Business As Usual (BAU), comparándolas con las emisiones generadas en un escenario de proyecto.

Escenario BAU:

Lic. Lautaro Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime Bremm

Mag. Ing. Cecilia Puchalski

Geól. Mónica krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Las actividades que ocurren en las condiciones actuales del área del proyecto incluyen principalmente actividades de transporte. El área del proyecto incluye industrias, como aserraderos, cuyos trabajadores se movilizan diariamente por este camino.

Escenario de Proyecto:

La re-pavimentación de la ruta mejorará la transitabilidad del camino, reduciendo tiempos de frenado y drag de los vehículos. Adicionalmente, se estima que una calle asfaltada contribuye a la disminución del consumo de combustible de los vehículos en un rango del 2% al 5% (Patel, 2019), lo que se traduce en una reducción de las emisiones actuales generadas por el tránsito en dicha vía.

6.5. Estimación de las Emisiones

La estimación de la huella de carbono de una actividad se realiza, en sentido estricto, una vez finalizada su ejecución, dado que requiere contar con datos reales de actividad asociados a los procesos desarrollados. En este sentido, se trata de una estimación de carácter **ex post**, basada en información efectiva sobre consumos, materiales y operaciones.

No obstante, en etapas de planificación es posible efectuar una estimación **ex ante**, sustentada en supuestos técnicos y valores de referencia representativos. Estas estimaciones preliminares permiten anticipar el orden de magnitud de las emisiones y orientar la toma de decisiones, aunque deberán ser posteriormente validadas y ajustadas en función de los datos reales relevados durante la implementación y operación del proyecto.

6.5.1. Enfoque general

La estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del proyecto se realiza considerando las principales fuentes asociadas a las etapas de construcción, operación y mantenimiento, aplicando la metodología basada en datos de actividad y factores de emisión conforme a los lineamientos del IPCC y el GHG Protocol. Ante la ausencia de un censo de tránsito vehicular oficial actualizado para la totalidad del corredor, se ha desarrollado un ejercicio de simulación analítica a partir de una muestra corporativa local, tomando como base de referencia la flota y los traslados del personal de la empresa Don Guillermo S.R.L. En consecuencia, esta modelación constituye una estimación preliminar hipotética que permite evaluar de manera

indicativa el comportamiento de las emisiones y validar la sensibilidad del proyecto frente a mejoras en la transitabilidad. Los resultados obtenidos para esta muestra específica servirán como base metodológica para una posterior actualización y calibración del inventario general una vez que se disponga de datos censales definitivos de tránsito (TMDA) aportados por la Dirección Provincial de Vialidad.

Se adopta un enfoque comparativo entre:

- **Escenario BAU (sin proyecto)**
- **Escenario con proyecto**

6.5.2. Supuestos generales del cálculo

Para la estimación se adoptan los siguientes supuestos técnicos, representativos de proyectos viales en la región:

- Longitud del tramo intervenido: **73,5 km**
- Tipo de intervención: rehabilitación + mejoras hidráulicas
- Horizonte de evaluación: **20 años** (CEPAL, 2011)
- Tránsito (TMDA): 4.273 veh/día (Evaluación Económica -HDM-4, 2026)
- Participación:
 - Autos: 91,7 %
 - Motos: 6,1 %
 - Camiones: 2,2 %

Adicionalmente se contabilizan 90 motocicletas de acuerdo a estimaciones del establecimiento Don Guillermo S.R.L., 2026

Factores de emisión adoptados:

- Gasoil (diésel): **74,1 kg CO₂/GJ**
- Nafta (gasolina): **69,3 kg CO₂/GJ**

Potenciales de calentamiento global – GWP (IPCC, 2021–2023):

- CO₂: 1
- CH₄: 29,8
- N₂O: 273

6.5.3. Emisiones en etapa de construcción

Emisiones por combustión móvil

Para estimar las emisiones de GEI asociadas al uso de combustibles líquidos en vehículos (camionetas, automóviles, etc.) y maquinaria pesada de obra, utilizados en la etapa constructiva se consideró un total de gasoil/diésel y nafta/gasolina y la longitud del tramo principal a intervenir desde Eldorado hasta Pozo Azul (73,5 km).

La estimación de la cantidad de energía consumida se realiza a partir del Poder Calorífico Inferior para cada tipo de combustible, como se muestra a continuación en la Ec. 2:

$$PCI \left(\frac{GJ}{litro} \right) = PCI \left(\frac{GJ}{tonelada} \right) * Densidad \left(\frac{tonelada}{litro} \right) \text{ (Ec.2)}$$

Tabla 9. Valores de PCI por tipo de combustible

Combustible	PCI (GJ/t)	Densidad (t/m ³)
Nafta comercial	42,21	0,746
Gasoil comercial	43,96	0,846

Fuente: Instituto Argentino del Petróleo y Gas, tomados de la Tabla 4 y la Tabla 5 del documento técnico PRSC202020. (IAPG, 2020)

Consumo de maquinaria

Supuesto típico:

- Consumo: **15.000 litros/km de ruta**

Total de energía consumida:

- 73,5 km × 15.000 l/km = **1.102.500 litros gasoil** (diésel)
- PCI: **0,03719 GJ/l**
- 1.102.500 l * 0,037190 GJ/l = **41.001,99 GJ**

Emisiones por consumo de gasoil en maquinaria

- Emisiones kg CO₂**: 3.038.247,98
- Emisiones kg CH₄**: 170,16
- Emisiones kg N₂O**: 1.172,66

Producción de materiales

Asfalto

Se estiman las emisiones principalmente por la producción de asfalto. Esa estimación no incluye las emisiones por la extracción y transporte de los áridos ni del betún para la fabricación del asfalto. Contempla las emisiones de GEI provenientes del gasto energético de producir la mezcla asfáltica en una planta.

Supuesto:

- 500 ton mezcla asfáltica/km de ruta
- Factor: 0,05 tCO₂/ton

Total:

- $73,5 \text{ km} \times 500 \text{ ton/km} = \mathbf{36.750 \text{ ton}}$

Emissiones:

- $36.750 \text{ t} \times 0,05 \text{ tCO}_2\text{e/t} = \mathbf{1.837,5 \text{ tCO}_2\text{e}}$

Estructuras de Acero:

Toneladas de acero: 140 t de Acero especial para hormigones ADN-420

Emissiones:

- $140 \text{ t} \times 1,58 \text{ t CO}_2\text{e} / \text{t} = 221,2 \text{ t CO}_2\text{e}$

Cemento:

De las estimaciones del cómputo de obra se obtuvo un valor de hormigón de aproximadamente 8.700 toneladas de hormigón. Considerando un valor medio de 15% de cemento en su composición, tenemos 1.500 t de cemento.

Emissiones:

- $1500 \text{ t} \times 527,52 \text{ kg CO}_2/\text{t} = 791,3 \text{ t CO}_2\text{e}$

Transporte:

El transporte de la materia prima hasta la obra representa una fuente de emisión directa (Alcance 1), sin embargo, en una estimación ex-ante, supone un grado alto de incertidumbre debido a no conocer la cantidad de viajes, la distancia recorrida o los vehículos utilizados.

Consideraciones:

- Transporte de personal: Vehículos a Nafta
 - FE: 69,3 kg CO₂/GJ
 - Rendimiento: 10 l / 100 km
- Transporte de insumos: vehículos a Gasoil
 - FE: 74,1 kg CO₂/GJ
 - Rendimiento: 30 l/100km

En análisis de ciclo de vida para obras viales, Wang et al. (2015) identificaron que el transporte representa entre el 3% y el 10% de las emisiones totales (Wang, Duan, Wu, & Yang, 2015). Considerando que dicho trabajo considera únicamente el transporte de materiales, se considera el valor más alto del 10% para incluir el transporte del personal.

Tabla 10. Total de emisiones etapa constructiva

Fuente	Emisiones (tCO ₂ e)
Maquinaria	3.363,45
Transporte	690,38

Fuente	Emisiones (tCO ₂ e)
Materiales	2.850
TOTAL	6.903,8 tCO₂e

Fuente: Elaboración propia.

6.5.4. Emisiones en etapa de operación

Escenario sin proyecto (BAU)

Condiciones:

- Baja a media velocidad (50 km/h)
- Mayor consumo por congestión/anegamientos

Consumo promedio:

- Motos: 4 l/100 km
- Autos: 10 l/100 km
- Camiones y Ómnibus: 30 l/100 km

Consumo diario:

- Autos: 28.799,81 l/día
- Motos: 264,6 l/día
- Camiones y Ómnibus: 7820,23 l/día

Total diario: 36.884,64 litros

Total anual: 13.462.892,6 litros

Emisiones:

- ≈ 35.000 tCO₂e/año

Escenario con proyecto

Mejora en condiciones:

- Mayor velocidad (60–70 km/h)
- Menor consumo (~2-5% reducción, se toma un valor medio de 3,5%)
- Se considera un aumento del 5% anual del tránsito en la RP 17 conforme a lo planteado en la Evaluación Económica - HDM-4, a los fines de mantener cohesión en los escenarios proyectados (DPV, 2026)¹

Calculamos las emisiones totales de la etapa de operación en un periodo de 20 años, considerando un 5% anual de aumento del tránsito con respecto a los

¹ La cuantificación de estas emisiones requiere un monitoreo anual del tránsito real durante la etapa de operación.

valores del escenario de base y los rendimientos correspondientes a vehículos livianos y pesados.

Factor de crecimiento acumulado en 20 años:

$$FCA = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} = \frac{(1 + 0,05)^{20} - 1}{0,05} = 33,07$$

Emissiones operativas en un plazo de 20 años:

$$Emisiones\ operativas = 35.000\ tCO_2 * 33,07 = 1.157.424,8\ tCO_2$$

Y considerando una reducción del 3,5% del consumo de combustible:

$$Reducciones = 35.000\ tCO_2 * 33,07 * (1 - 0.035) = 1.116.914,94\ tCO_2$$

Balance total de la etapa operativa:

$$Emisiones\ operativas\ netas = Emisiones - Reducciones \approx 40.500\ tCO_2$$

6.5.5. Emisiones en mantenimiento

Supuesto:

- 5% de emisiones de construcción por año (Asignado en función de la proporción de materiales e insumos con respecto a la obra)

Entonces:

- **5.778,8 tCO₂e** × 5% = 289 tCO₂e/año
- En 20 años: ≈ **5.780 tCO₂e**

En un periodo de evaluación 20 años se contempla también una actividad de repavimentación, tomando los siguientes componentes de la etapa constructiva:

- Emisiones por Uso de Materiales Bituminosos: 1.800 tCO₂e
- Emisiones por Transporte de MP: 690 tCO₂e
- Emisiones móviles por uso de maquinaria: 3.300 tCO₂e

6.5.6. Balance global del proyecto

Tabla 11. Balance global de emisiones del proyecto

Concepto	Emisiones (tCO ₂ e)
Construcción	6.903,8
Mantenimiento	5.780
Repavimentado	5.790
Subtotal emisiones	18.473,8

Concepto	Emisiones (tCO ₂ e)
Operación neta	40.500 tCO ₂ e
BALANCE NETO	58.73,8 tCO₂e

El análisis muestra que:

- La **etapa de construcción concentra las emisiones iniciales**, principalmente por uso de combustibles de maquinaria y materiales.
- Sin embargo, la mayor parte de las emisiones del proyecto se concentran en la etapa operativa, donde se generan emisiones por el uso de la carretera y el tránsito inducido. Además, el proyecto genera reducciones significativas en esta misma etapa, asociadas a:
 - Mejora en la transitabilidad
 - Reducción de tiempos de viaje
 - Menor consumo de combustible

La etapa de mantenimiento en un periodo de 20 años (incluyendo un repavimentado), también representa un porcentaje no despreciable de las emisiones, aunque las mismas llevan un nivel de incertidumbre elevado, debido a que las actividades de mantenimiento y repavimentado estarán sujetas a diferentes condiciones en los próximos años, por ejemplo, las condiciones económicas que permitan la ejecución de estas actividades.

En términos netos, la estimación planteada para el proyecto presenta un **balance positivo en carbono**, sin embargo, de poder estudiarse las reducciones generadas por las mejoras incorporadas a la ruta, podría actuar como una intervención que contribuye a la reducción de emisiones en el largo plazo bajo el supuesto planteado en la mejora de la circulación y condiciones de mantenimiento que permitan reducir el consumo de combustible de los vehículos en circulación en un porcentaje mayor a lo planteado para las estimaciones.

6.5.7. Nivel de incertidumbre

Los resultados deben interpretarse como **estimaciones de orden de magnitud**, sujetas a:

- Supuestos de tránsito
- Factores de emisión genéricos
- Datos de obra preliminares

7. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE GEI

En línea con los compromisos nacionales de reducción de emisiones (NDC) las medidas de mitigación se orientan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del proyecto a lo largo de su ciclo de vida. Las acciones se organizan por etapas —construcción, operación y mantenimiento— y se enfocan en mejorar la eficiencia en el uso de recursos, optimizar procesos y disminuir la huella de carbono. Asimismo, se incorporan lineamientos para la gestión y compensación de emisiones, en el marco de un enfoque de infraestructura vial baja en carbono.

La selección y priorización de las medidas considera criterios de costo-efectividad, en función de los costos de implementación y el potencial de reducción de emisiones, así como la disponibilidad de tecnologías y la capacidad técnica local para su adecuada implementación y sostenibilidad en el tiempo.

Las medidas de mitigación serán clasificadas en:

- De prevención: aquellas destinadas a evitar emisiones antes de que ocurran, a través de un cambio o modificación en la forma típica de operación.
- De reducción: aquellas destinadas a reducir emisiones de GEI cuando no sea posible evitarlas, debido a la naturaleza netamente emisora de la actividad, por ejemplo, las medidas relacionadas al transporte.
- De compensación: Medidas destinadas a compensar las emisiones ya generadas, que no pudieron evitarse y que se han reducido todo lo posible.

7.1. Mitigación en construcción

Gestión Logística Operativa y Eficiencia en el Consumo de combustible (Alcance 1)

- **Planificación de Movimientos:** Diseñar rutas internas para minimizar distancias de acarreo.
- **Política de “Ralentí Cero”:** Apaga motores en esperas superiores a 3 minutos.
- **Optimización de Carga:** Asegurar que cada vez que se realice movimiento (de materiales y de personal), se haga con la capacidad máxima de carga permitida para reducir el número de ciclos y aprovechar los combustibles al máximo.

Optimización de logística de insumos (Alcance 3): Priorizar proveedores locales de materiales de construcción para reducir las emisiones por transporte de insumos. Se recomienda un radio de 50 km y en cuando este rango no sea aplicable, se recomiendan compras dentro de los límites provinciales.

Economía circular (Alcance 3): Para reducir las emisiones indirectas por compra y utilización de materiales, se plantea el uso de Pavimentos Asfálticos Recuperados (RAP), material de asfalto envejecido, removido mediante fresado o demolición, que se tritura y tamiza para reutilizarse en nuevas mezclas asfálticas. Las proporciones en las que se apliquen deberán ser acordes a los parámetros técnicos y de calidad exigidos para el proyecto.

7.2. Mitigación en operación

Gestión de la Rugosidad y Tránsito Pesado (Alcance 3 - Tránsito Inducido):

- **Mantenimiento Preventivo del IRI:** Mantener el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) bajo es crítico, especialmente ante el tránsito de camiones pesados (categorías 6 a 9 del censo).
- **Impacto del Tránsito Pesado:** Los camiones con acoplado generan una degradación exponencial del pavimento comparado con vehículos livianos. Un incremento en la rugosidad debido a fallas estructurales aumenta la resistencia a la rodadura; para un camión pesado, esto puede significar un aumento de hasta el 7% en su consumo de combustible.
- **Acción:** Realizar refuerzos estructurales y sellados antes de la aparición de baches para garantizar una superficie lisa que minimice el esfuerzo de tracción de los vehículos de carga.

Iluminación Eficiente (Alcance 2): Uso de tecnología LED, luminaria eficiente de bajo consumo, potencialmente alimentada con energía solar.

7.3. Compensación

Recuperación de Sumideros: Reforestación en zonas afectadas por el proyecto, considerando una escala de entre 3:1 y 6:1 en unidades replantadas por unidad removida, o alternativamente, mediante la compra de créditos de carbono.



Consultores
del Guayrá S.R.L.

Estudios Ambientales y Sociales en el marco del
proyecto de Construcción del Puente sobre
Arroyo Piray Mini, Rehabilitación de la Ruta
Provincial N°17 y Obras Complementarias

7.4. Plan de implementación y trazabilidad

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Tabla 12. Tabla de implementación y trazabilidad de las medidas de mitigación.

Fuente de GEI	Medida de Mitigación	Tipo de Medida	Etapas	Responsable	KPI / Indicador	Frecuencia de Seguimiento
Maquinaria y transporte de obra	Gestión logística operativa y eficiencia en el consumo de combustible (planificación de movimientos, ralentí cero y optimización de cargas en pendientes)	Prevención	Construcción	Contratista / DPV	Litros de combustible consumidos por mes y/o por km intervenido	Mensual
Maquinaria y transporte de obra	Uso de biocombustibles en flotas de obra y transporte de insumos	Reducción	Construcción	Contratista	% de combustible renovable utilizado sobre el consumo total	Mensual
Uso de materiales de construcción	Optimización de logística de insumos (priorización de canteras y proveedores regionales)	Prevención	Construcción	Contratista / DPV	Distancia media y máxima de transporte de agregados pétreos y asfalto	Mensual
Uso de materiales de construcción	Economía circular mediante la reutilización de RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado)	Reducción	Construcción	Contratista	Toneladas de RAP reutilizadas y % de RAP incorporado en bases o	Mensual

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Fuente de GEI	Medida de Mitigación	Tipo de Medida	Etapas	Responsable	KPI / Indicador	Frecuencia de Seguimiento
					subbases de las terceras trochas	
Uso de la ruta y tránsito pesado	Gestión de la rugosidad y eficiencia del tránsito de carga mediante mantenimiento preventivo del IRI	Prevención	Operación y Mantenimiento	DPV	Índice de Rugosidad Internacional (IRI) medido en el corredor	Semestral
Uso de la ruta y tránsito pesado	Refuerzos estructurales y sellado preventivo de pavimentos en sectores de alta pendiente	Reducción	Operación y Mantenimiento	DPV	Longitud de pavimento intervenida preventivamente (km/año)	Anual
Cambios en la cobertura vegetal	Recuperación de sumideros de carbono mediante reforestación compensatoria con especies de la selva paranaense	Compensación	Transversal	Contratista / DPV	Nº de individuos arbóreos nativos plantados y % de supervivencia en el derecho de vía o áreas degradadas	Anual
Infraestructura operativa y	Eficiencia energética en el corredor mediante la	Reducción	Operación y Mantenimiento	DPV / Municipio / Energía de Misiones	% de luminarias eficientes	Anual

Fuente de GEI	Medida de Mitigación	Tipo de Medida	Etapas	Responsable	KPI / Indicador	Frecuencia de Seguimiento
equipamiento vial	instalación de sistemas de iluminación con tecnología LED alimentada por fuentes eficientes o sistemas fotovoltaicos (si aplica)				instaladas; Consumo energético anual estimado (<i>kWh/año</i>)	
Emisiones residuales del proyecto	Compensación mediante créditos de carbono o proyectos locales de conservación (si corresponde)	Compensación	Transversal	DPV	<i>tCO₂e</i> compensadas respecto de las emisiones residuales calculadas	Anual

Fuente: Elaboración propia.

7.5. Integración y resultados esperados

Mediante la implementación de las medidas de mitigación, se espera reducir las emisiones de GEI generadas por las actividades del proyecto. En simultáneo, una reducción de la huella de carbono, viene acompañada con mejoras en la eficiencia general del proyecto: optimización uso de los recursos, menores costos de implementación, mejor planificación y desempeño ambiental.

Las medidas de prevención, reducción y compensación permitirán que la obra esté alineada con compromisos provinciales, nacionales e internacionales, así como con las tendencias del sector.

Finalmente, mediante las acciones planteadas, se busca maximizar los beneficios generados en términos climáticos, contribuyendo a maximizar los beneficios climáticos asociados a la mejora de la infraestructura vial y a compensar parcialmente las emisiones generadas durante el ciclo de vida del proyecto.

8. ALINEACIÓN INSTITUCIONAL Y SINERGIAS

La alineación institucional constituye un componente central para asegurar la consistencia, sostenibilidad y escalabilidad de las medidas propuestas en el presente Plan de Acción Climática favoreciendo la coherencia de políticas públicas y evitando superposición de esfuerzos. Adicionalmente, el proyecto sobre la Ruta Provincial N° 17 no se concibe como una intervención aislada, sino como parte de una estrategia más amplia de gestión del riesgo climático y desarrollo resiliente a nivel provincial y territorial.

Este apartado tiene por objetivo analizar la coherencia del proyecto con los marcos estratégicos vigentes, en particular con el Plan de Respuesta Provincial de Cambio Climático de Misiones, así como identificar las sinergias con programas e iniciativas existentes en materia de gestión hídrica, ordenamiento territorial e infraestructura resiliente. Además, se examinan los mecanismos de coordinación interinstitucional necesarios para la implementación efectiva de las medidas de adaptación y mitigación, considerando la articulación entre organismos provinciales, actores municipales y entidades sectoriales.

De esta manera, la alineación institucional no solo permite validar la pertinencia del proyecto en términos de política pública, sino que también fortalece su viabilidad operativa, optimiza el uso de recursos y potencia sus beneficios, contribuyendo a una gestión integrada del riesgo climático y al cumplimiento de los compromisos provinciales en materia de cambio climático.

8.1. Marco estratégico y alineación con políticas climáticas

El proyecto se enmarca en un contexto institucional más amplio de acción climática, tanto a nivel provincial como nacional, contribuyendo de manera directa a los objetivos de adaptación y, de forma complementaria, a la mitigación del cambio climático. Asimismo, la intervención sobre la Ruta Provincial N.º 17 no constituye únicamente una obra de infraestructura vial, sino una medida estratégica orientada a fortalecer la resiliencia territorial frente a condiciones climáticas cada vez más exigentes en la región norte de la provincia.

A nivel provincial, el proyecto se alinea con los objetivos del Plan de Respuesta Provincial al Cambio Climático, particularmente en aquellos ejes vinculados a la infraestructura resiliente, la gestión integral del riesgo hídrico y el ordenamiento territorial. Las intervenciones propuestas —especialmente la demolición y

construcción del nuevo puente sobreelevado sobre el arroyo Piray Mini, la mejora en la capacidad de drenaje en zonas accidentadas y la estabilización de cortes rocosos— contribuyen directamente a la reducción de la vulnerabilidad de una infraestructura crítica, al fortalecimiento de la conectividad regional y a la mejora de la accesibilidad a servicios esenciales.

También, el proyecto es consistente con el marco normativo nacional, en particular con la Ley N.º 27.520 de Presupuestos Mínimos de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático Global, que promueve la incorporación del enfoque climático en la planificación sectorial, y con la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Argentina, en su componente de adaptación de infraestructuras de transporte.

Desde la perspectiva de mitigación, si bien el proyecto no tiene como objetivo principal la reducción de emisiones, genera co-beneficios relevantes en este sentido. La mejora en las condiciones de circulación (incluyendo la adición de terceras trochas para tránsito pesado en pendientes pronunciadas), la reducción de interrupciones del servicio por anegamientos y la disminución de desvíos kilométricos hacia rutas alternativas permiten optimizar los tiempos de viaje y reducir el consumo de combustible. Esto contribuye indirectamente a una menor generación de emisiones asociadas al transporte, el cual constituye una fuente prioritaria de emisiones según el Inventario Provincial de Gases de Efecto Invernadero (Gobierno de la Provincia de Misiones, 2018).

El proyecto se vincula operativamente con el Plan Provincial de Respuesta al Cambio Climático de Misiones en los ejes referidos a infraestructura resiliente, gestión del riesgo hídrico, adaptación territorial y fortalecimiento de la gestión climática sectorial. En particular, el aumento de la capacidad hidráulica en el cruce del arroyo Piray Mini, el redimensionamiento de alcantarillas críticas, la estabilización geotécnica de taludes en el Cerro 60 y el monitoreo preventivo de eventos extremos constituyen acciones de implementación sectorial que contribuyen al cumplimiento de las líneas de acción provinciales orientadas a reducir la vulnerabilidad de la infraestructura crítica y asegurar la continuidad de servicios ante eventos hidrometeorológicos.

Tabla 13. Vinculación entre los ejes estratégicos del Plan Provincial de Respuesta al Cambio Climático y las medidas incorporadas en el Proyecto RP N° 17

Plan Provincial	Proyecto RP17
Gestión del riesgo hídrico	Construcción del nuevo puente sobre el arroyo Piray Mini con mayor sección de escurrimiento, readecuación de alcantarillas transversales críticas y optimización de cunetas longitudinales.

Infraestructura resiliente	Elevación de la rasante en puntos bajos, estabilización y peinado de taludes en frentes de corte de roca basáltica (Cerro 60) y diseño de mezclas asfálticas adaptadas a fatiga térmica y carga pesada en terceras trochas.
Adaptación territorial	Continuidad operativa del corredor bioceánico de cargas y garantía de conectividad y acceso a servicios críticos para las comunidades de Eldorado, Pozo Azul y Dos Hermanas.
Gobernanza climática	Monitoreo de eventos hidrometeorológicos extremos, programas de mantenimiento adaptativo de drenajes, fajas preventivas de biomasa contra incendios y reportes institucionales coordinados.

8.2. Articulación con programas e instrumentos existentes

El proyecto se articula con un conjunto de programas e instrumentos de política pública existentes, lo que permite potenciar su impacto y asegurar su sostenibilidad en el tiempo. En este marco, las intervenciones propuestas no operan de manera aislada, sino que se integran funcionalmente con estrategias sectoriales vinculadas a la gestión hídrica, el ordenamiento territorial, la infraestructura resiliente y la gestión del riesgo de desastres a nivel provincial.

En relación con la gestión hídrica, las acciones orientadas a mejorar los sistemas de drenaje y el manejo de excedentes hídricos se alinean con los enfoques de la provincia de Misiones que buscan optimizar la respuesta del territorio frente a eventos de precipitaciones intensas y crecidas repentinas. La sustitución y readecuación de alcantarillas críticas, cunetas y obras de descarga contribuye no solo al desempeño de la infraestructura vial, sino también a una mejor gestión de las dinámicas hidrológicas de las cuencas locales que vierten hacia el río Paraná.

En términos de infraestructura resiliente, el proyecto incorpora criterios de diseño adaptados al cambio climático, considerando tanto las condiciones climáticas actuales como los escenarios futuros de mayor severidad hidrometeorológica (tal como se detalla en las secciones técnicas del EslA referidas a las alternativas de diseño geométrico, el nuevo viaducto/puente sobre el arroyo Piray Mini y las obras de estabilización geotécnica). Esto implica un enfoque más robusto en la planificación y ejecución de la obra, orientado a soportar eventos extremos, garantizar revanchas hidráulicas rigurosas y reducir la probabilidad de fallas estructurales o funcionales, en línea con las recomendaciones de organismos internacionales de financiamiento.

Por otra parte, la mejora de la conectividad que implica la rehabilitación integral de la Ruta Provincial N° 17 contribuye de manera decisiva al ordenamiento territorial y a la integración transfronteriza, reduciendo situaciones de aislamiento físico y fortaleciendo el vínculo socioeconómico y productivo entre los municipios de Eldorado y Pozo Azul, así como el acceso al este profundo de la provincia. Este aspecto resulta clave en contextos donde la geografía accidentada condiciona de forma directa el acceso a servicios de salud, educación, el desarrollo del sector agroforestal y la calidad de vida de las poblaciones y colonias rurales.

Finalmente, las medidas operativas previstas, tales como la implementación de protocolos de contingencia ante incendios y caída de vegetación de la selva paranaense, los sistemas operacionales de monitoreo y los planes de desvío viales (utilizando la Ruta Provincial N.º 20 como bypass alternativo), se articulan de manera directa con los sistemas existentes de gestión del riesgo y emergencias de la provincia (Defensa Civil y cuerpos de bomberos locales). Esta integración permite mejorar la capacidad de respuesta instalada en el territorio y reducir los impactos de eventos climáticos extremos sobre la seguridad de los usuarios y la continuidad de los servicios críticos.

Adicionalmente, el proyecto genera sinergias en términos de mitigación, al contribuir a una mayor eficiencia del sistema de transporte pesado internacional mediante la habilitación de terceras trochas para cargas en pendientes pronunciadas, reduciendo de este modo las aceleraciones forzadas, los consumos energéticos y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la operación vial.

8.3. Coordinación interinstitucional y gobernanza

La implementación efectiva de la estrategia de adaptación y resiliencia requiere una adecuada coordinación entre los distintos actores institucionales involucrados, tanto en la etapa de construcción como durante la operación y el mantenimiento de la infraestructura. En este sentido, el proyecto se concibe no solo como una obra vial, sino también como una herramienta de implementación de las políticas provinciales de adaptación, contribuyendo de forma directa al cumplimiento de los lineamientos establecidos en el Plan Provincial de Respuesta al Cambio Climático de Misiones (Disposición 853/2025).

La articulación operativa para la implementación del componente climático del proyecto no se limita a un mero intercambio de información sectorial, sino que se

constituye como un pilar de la gobernanza climática provincial. De acuerdo con lo ratificado en las reuniones de trabajo con la Secretaría de Cambio Climático de la provincia durante la última misión, la gobernanza climática en Misiones es liderada y fortalecida de manera directa a través de las inversiones sectoriales reales, siendo este proyecto vial un ejemplo concreto de dicha dinámica. Al territorializar los objetivos del Plan de Respuesta Provincial mediante obras de infraestructura resilientes financiadas por el programa, se consolidan los mecanismos institucionales de toma de decisiones estratégicas.

Bajo este enfoque de gobernanza, los roles institucionales se definen de la siguiente manera:

- **DPV:** Asume el rol de nodo ejecutor central en la planificación, ejecución y gestión de la obra. Es la autoridad responsable de implementar las medidas estructurales de adaptación, monitorear el desempeño de la infraestructura (especialmente el comportamiento hidráulico del nuevo puente sobre el arroyo Piray Mini y la estabilidad de los frentes de corte basáltico) y ejecutar las acciones de mantenimiento requeridas para sostener los niveles de resiliencia previstos en el diseño. Asimismo, reportará sistemáticamente el comportamiento de la infraestructura adaptada para retroalimentar la planificación climática general de la provincia.
- **Secretaría de Cambio Climático de la Provincia:** Cumple una función estratégica en la coordinación de las políticas públicas y en asegurar la coherencia entre las inversiones sectoriales y los objetivos climáticos provinciales. A través de una articulación permanente con la DPV, promoverá el intercambio sistemático de información sobre eventos hidrometeorológicos, desempeño de las obras de drenaje, afectaciones a la transitabilidad y respuestas ante emergencias, fortaleciendo los procesos de monitoreo, evaluación y planificación adaptativa a escala territorial.
- **Municipios de Eldorado y Pozo Azul:** Tendrán un rol relevante en la gestión operativa local a lo largo de la traza, particularmente en la implementación de protocolos de emergencia, la identificación temprana de afectaciones a la transitabilidad urbana/rural y la articulación directa con las comunidades y colonias productivas ante eventos climáticos extremos.
- **Organismos Sectoriales (Ministerio de Ecología y Recursos Naturales No Renovables y Protección Civil):** Aportarán capacidades técnicas específicas para la gestión del riesgo, la fiscalización de las fajas de resguardo ambiental

forestal, la incorporación de información hidrometeorológica actualizada y la respuesta coordinada ante contingencias.

La coordinación sinérgica entre estos actores permite avanzar desde un enfoque predominantemente reactivo hacia un modelo preventivo de gestión del riesgo vial. Para ello, se prevé la implementación de protocolos interinstitucionales, el uso de sistemas de información compartidos y el desarrollo de planes de contingencia coordinados, especialmente en lo relativo a la gestión de eventos hidrometeorológicos extremos, la remoción rápida de biomasa por caída de árboles y a la operación pautada de rutas alternativas, como la Ruta Provincial N.º 20.

Finalmente, la experiencia obtenida durante la ejecución y operación de la Ruta Provincial N° 17 servirá como un activo institucional y una referencia técnica para futuras inversiones de infraestructura resiliente en la provincia, demostrando cómo la inversión en obra pública se transforma en el motor de la política climática de Misiones.

8.4. Compatibilidad con Iniciativas de Carbono a Nivel

Jurisdiccional

Misiones es la primera provincia de Argentina y de la Región en llevar adelante un proyecto Jurisdiccional Anidado REDD+ (JNR). Este proyecto busca la generación de beneficios económicos por deforestación evitada, mediante la certificación de créditos de carbono bajo el estándar internacional VERRA. Cada crédito de carbono representa una tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO_2e) que no se ha emitido a la atmósfera, gracias a la reducción de la deforestación y degradación de masas forestales en el territorio provincial.

El proyecto JNR busca generar créditos en dos periodos distintos, siendo el de esta primera etapa el periodo comprendido entre los años 2016 y 2021. Esto significa que la provincia recibirá créditos de carbono por la deforestación evitada durante esos años, contrastando el valor de cada año con un promedio histórico de referencia.

Bajo este enfoque, las actividades del proyecto vial de la Ruta Provincial N° 17 bajo estudio no presentan un efecto negativo o que vaya en contra de los esfuerzos provinciales al momento, ya que la obra se ejecuta fundamentalmente sobre una traza preexistente. Sin embargo, dado que el corredor atraviesa sectores lindantes con remanentes continuos de selva paranaense y áreas sujetas al ordenamiento territorial de bosques nativos, es de especial importancia entender que cualquier acción

marginal que implique desmonte por ampliación de zona de camino o implantación de terceras trochas en áreas de categoría I (Rojo), II (Amarillo) o III (Verde) genera un impacto directo sobre la contabilidad forestal provincial. Estas coberturas arbóreas, además de poseer un valor de biodiversidad natural intrínseco, constituyen zonas que están generando un valor financiero y ambiental adicional a la provincia gracias a sus servicios ecosistémicos de captura de carbono. Por lo tanto, los criterios de evaluación y el plan de gestión ambiental del proyecto deberán contemplar rigurosamente esta dimensión, aplicando medidas estrictas de minimización del ancho de despeje y compensación forestal con especies nativas a fin de maximizar los beneficios sociales, económicos y naturales de la inversión pública.

9. SISTEMA DE MONITOREO E INDICADORES

El sistema de monitoreo e indicadores tiene por objetivo evaluar de manera continua el desempeño del proyecto frente al cambio climático, considerando tanto la gestión de riesgos climáticos (adaptación) como la contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (mitigación).

Este enfoque integrado permite:

- Evaluar la efectividad de las medidas de adaptación frente a amenazas climáticas.
- Medir la mejora en la resiliencia y continuidad operativa del sistema vial.
- Cuantificar las emisiones y capturas de GEI en todas las etapas del proyecto y su contribución a la mitigación del cambio climático.
- Identificar desvíos y ajustar la gestión en función de evidencia.

En este marco, el sistema se basa en un enfoque de gestión adaptativa y monitoreo climático integral, donde los indicadores permiten vincular riesgos, medidas y resultados a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

9.1. Estructura del sistema de indicadores

El sistema de monitoreo se organiza en cuatro dimensiones complementarias:

- **Indicadores de adaptación – desempeño físico:** evalúan la respuesta de la infraestructura frente a amenazas climáticas.
- **Indicadores de adaptación – desempeño funcional:** miden la continuidad operativa y la conectividad del sistema vial.
- **Indicadores ambientales y de mantenimiento:** reflejan la estabilidad ambiental del corredor y la capacidad operativa de conservación.
- **Indicadores de mitigación:** permiten realizar un seguimiento simplificado de consumos energéticos y emisiones asociadas al proyecto.

9.2. Matriz de indicadores (KPIs)

Tabla 14. Indicadores de adaptación

Riesgo climático	Medida asociada	Indicador (KPI)	Unidad	Frecuencia	Etapas	Meta
Lluvias intensas / crecidas	Adecuación de drenajes y nuevo viaducto s/A. Piray Miní	% de obras ejecutadas s/diseño % de drenajes operativos	%	Semestral	Construcción / Mantenimiento	> 90%
Inundaciones / cortes	Elevación de rasante y diseño hidráulico con revancha	Nº de eventos de corte por anegamiento	Nº/año	Anual	Operación	Reducción significativa
Erosión / deslizamientos	Estabilización de frentes de corte basáltico y protección de taludes	Nº de fallas geotécnicas o desprendimientos	Nº/año	Semestral	Construcción / Mantenimiento	Tendencia decreciente
Deterioro térmico y fatiga	Mejora del paquete estructural (incluyendo terceras trochas para pesados)	Índice de Condición del Pavimento (PCI / IRI)	Índice	Anual	Operación / Mantenimiento	Mejora sostenida
Olas de calor	Protocolos de SST para calor extremo en obra	Nº de incidentes asociados a estrés térmico en trabajadores	Nº/año	Mensual (en temporada cálida)	Construcción	0 incidentes graves

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Riesgo climático	Medida asociada	Indicador (KPI)	Unidad	Frecuencia	Etapas	Meta
Interrupciones del servicio	Plan de desvíos operativos (uso de RP 20 como bypass)	Tiempo total de interrupción del tránsito	Horas/evento	Anual	Operación	Reducción significativa
Eventos extremos	Protocolos interinstitucionales (Municipios, Def. Civil, Vialidad)	Tiempo de respuesta ante la emergencia	Horas	Por evento	Operación	Minimización
Fallas de drenaje	Mantenimiento intensivo y desobstrucción	Nº de intervenciones correctivas de urgencia	Nº/año	Anual	Mantenimiento	Reducción progresiva
Vientos intensos / tormentas	Remoción preventiva de árboles de gran porte y control de faja de dominio	Nº de incidentes por caída de biomasa de la selva sobre la calzada	Nº/año	Anual	Operación / Mantenimiento	Minimización
Variabilidad térmica	Monitoreo de fisuración en zonas de aceleración/frenado (terceras trochas)	Longitud de fisuras detectadas y selladas	m/año	Trimestral	Mantenimiento	Tendencia estable o decreciente
Sequías / déficit hídrico	Gestión preventiva y uso eficiente del agua en obradores y compactación	Nº de restricciones de captación o conflictos por uso del agua	Nº/año	Durante períodos secos	Construcción	0 eventos significativos

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Riesgo climático	Medida asociada	Indicador (KPI)	Unidad	Frecuencia	Etapas	Meta
Incendios forestales (indirecto)	Plan de contingencia e interfaz con macizos forestales y selva nativa	Nº de eventos que afectan la visibilidad o integridad de la traza	Nº/año	Anual	Operación / Mantenimiento	Minimización

Fuente: Elaboración propia.

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Tabla 15. Indicadores de mitigación

Fuente de emisiones	Medida asociada	Indicador (KPI)	Unidad	Frecuencia	Etapas	Meta
Maquinaria de obra	Gestión eficiente de combustibles y mantenimiento de flota pesada	Consumo de combustible diésel	Litros/mes	Mensual	Construcción	Reducción vs. línea base del obrador
Maquinaria de obra	Fomento en el uso de biocombustibles según corte nacional/provincial	Participación de combustible renovable en flota	%	Mensual	Construcción	Incremento progresivo compatible con disponibilidad
Construcción	Optimización logística de insumos (priorización de canteras de basalto y plantas locales)	Distancia promedio de abastecimiento de áridos y asfalto	km	Mensual	Construcción	Minimización de la huella de transporte (tCO_2e)
Construcción	Economía circular mediante reutilización de pavimento existente (RAP)	RAP incorporado en mezclas, subbases o estabilización de banquetas	t o %	Mensual	Construcción	Maximización según especificaciones técnicas de la DPV
Operación vehicular	Gestión de rugosidad superficial (IRI) para reducir resistencia a la rodadura	IRI promedio por tramo (enfaticando zonas de carga)	m/km	Semestral	Operación	Mantener estándar de diseño ($IRI \leq 2.5$ o según pliego)

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

Fuente de emisiones	Medida asociada	Indicador (KPI)	Unidad	Frecuencia	Etapas	Meta
Operación vehicular	Habilitación de terceras trochas para transporte pesado en pendientes	Consumo estimado de combustible del transporte de cargas	L/km-eje	Anual	Operación	Reducción por eliminación de aceleraciones forzadas y ralentización
Congestión / desvíos	Continuidad del servicio y optimización de la transitabilidad del corredor	Nº de desvíos prolongados o interrupciones totales	Nº/año	Anual	Operación	Reducción vs. histórico (garantizar fluidez Eldorado-Pozo Azul)
Mantenimiento	Eficiencia operativa en tareas de conservación vial y bacheo	Emisiones estimadas por logística de mantenimiento	$tCO_2e/año$	Anual	Mantenimiento	Control y optimización de rutas de cuadrillas
Vegetación / carbono	Plan de forestación compensatoria y restauración de fajas de resguardo	Nº de individuos de especies nativas plantados y % de supervivencia	Nº y %	Anual	Transversal (Construcción/Post-obra)	≥ 80% de supervivencia al segundo año
Emisiones residuales	Sinergia con el esquema Jurisdiccional Anidado REDD+ (JNR) de Misiones	Volumen de carbono forestal resguardado o compensado	$tCO_2e/año$	Anual	Transversal	Compensación o neutralización de las emisiones de la obra

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña

9.3. Implementación del sistema de monitoreo

La implementación del sistema de monitoreo requiere una coordinación institucional permanente entre los organismos responsables de la operación de la infraestructura, la gestión del riesgo y el seguimiento de las condiciones climáticas. En este marco, la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) actúa como el organismo responsable de la implementación y coordinación general del sistema, incluyendo el relevamiento de los indicadores de adaptación y mitigación detallados en las matrices precedentes, el seguimiento del estado de la infraestructura, el registro de intervenciones de mantenimiento y la consolidación de la información para la evaluación del desempeño climático integral del proyecto.

Durante la etapa de construcción, las empresas contratistas serán las responsables directas de registrar, auditar y reportar la información necesaria para el seguimiento de los indicadores asociados a las medidas implementadas. Esto incluye de forma obligatoria los consumos de combustibles diésel en frentes de obra, la trazabilidad logística de insumos asfálticos y áridos extraídos de canteras locales, el porcentaje de incorporación de Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP), el avance en la ejecución de las obras hidráulicas de adaptación y el estricto cumplimiento de los procedimientos operativos ante olas de calor o estrés térmico.

La Dirección General de Alerta Temprana de la Provincia de Misiones contribuirá de manera sistemática mediante la provisión de información hidrometeorológica en tiempo real y alertas tempranas relevantes para el monitoreo de amenazas climáticas, permitiendo evaluar tendencias asociadas a precipitaciones críticas, vientos intensos y temperaturas extremas en la zona norte. Por su parte, la Subsecretaría de Protección Civil aportará la información vinculada a la ocurrencia de emergencias en el corredor, la activación de protocolos de respuesta en la interfaz selva-infraestructura y la evaluación de eventos extremos que pudieren comprometer temporalmente la transitabilidad.

Complementariamente, los Municipios de Eldorado y Pozo Azul colaborarán activamente mediante el reporte continuo de afectaciones locales, condiciones de escurrimiento superficial en áreas urbanas y suburbanas, y observaciones territoriales clave para evaluar el impacto socio-ambiental de la obra en sus respectivas áreas de influencia. Asimismo, se articularán mecanismos de comunicación y monitoreo participativo con las comunidades indígenas del pueblo Mbya Guaraní asentadas en el entorno del corredor, garantizando que el seguimiento de los impactos climáticos

(como el estrés hídrico o el riesgo de incendios de interfaz) incorpore su perspectiva territorial y resguarde sus fuentes tradicionales de abastecimiento de agua y recursos forestales.

Por su parte, la Secretaría de Cambio Climático, en conjunto con la Dirección de Asuntos Guaraníes de la provincia, participará en la evaluación cruzada de los datos de mitigación y gestión territorial, garantizando la consistencia de los balances de carbono con el programa de gobernanza jurisdiccional y el estricto respeto a las salvaguardas ambientales y sociales del esquema Jurisdiccional Anidado REDD+ (JNR) en tierras comunitarias.

La información generada por estos distintos actores sectoriales y territoriales será integrada de forma centralizada por la DPV. Este proceso de seguimiento continuo está estrictamente orientado a fortalecer la gestión adaptativa del riesgo vial, optimizar las tareas de conservación preventiva y consolidar un modelo técnico de infraestructura resiliente, inclusiva y pluricultural, replicable en toda la provincia.

9.4. Herramientas de monitoreo

El sistema de monitoreo se apoya en herramientas técnicas, operativas e institucionales específicas que permiten relevar, sistematizar y analizar la información necesaria para el seguimiento riguroso de los indicadores de adaptación y mitigación definidos para la RP 17.

Entre las principales herramientas técnicas se incluyen:

- **Inspecciones viales estructurales y geotécnicas:** Evaluaciones periódicas en terreno orientadas a diagnosticar el Índice de Condición del Pavimento (PCI/IRI) —haciendo especial énfasis en el desgaste por tránsito pesado en las terceras trochas—, el estado de las obras de drenaje, el viaducto sobre el arroyo Piray Mini, y la estabilidad estructural de los taludes y frentes de corte en roca basáltica.
- **Registros de conservación y contingencias:** Sistematización de los partes de mantenimiento preventivo y correctivo, y un registro georreferenciado de incidentes climáticos (anegamientos, desvíos operativos hacia la RP 20, obstrucciones por caída de árboles de gran porte o afectaciones por incendios forestales de interfaz).
- **Sistemas de información meteorológica regional:** Integración de la red de estaciones meteorológicas de la Dirección General de Alerta Temprana de

Misiones para cruzar los datos de precipitaciones intensas, vientos extremos y umbrales de estrés térmico con el comportamiento físico de la infraestructura en la zona norte.

Como pilar tecnológico central, se utilizarán herramientas de **Sistemas de Información Geográfica (SIG) y teledetección satelital**. Estas plataformas permitirán el análisis espacial de eventos severos, la identificación de tramos críticos de concentración de escurrimientos y el monitoreo de la dinámica de la biomasa forestal en la faja de dominio.

Durante la etapa constructiva, el monitoreo de mitigación se sustentará en las planillas de control de obrador, auditorías de trazabilidad de insumos (distancia a canteras locales de áridos), registros de cubicaje de Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) e informes mensuales de consumo de combustible diésel.

Finalmente, se incorporarán herramientas de **monitoreo participativo y gobernanza socio-ambiental**, que incluirán canales de comunicación y registros de campo específicos articulados con las comunidades Mbya Guaraní y los municipios de Eldorado y Pozo Azul.

Los resultados consolidados serán integrados por la DPV y compartidos formalmente con la Secretaría de Cambio Climático y los organismos de gestión del riesgo, garantizando que los datos nutran los inventarios de emisiones provinciales y los mecanismos de salvaguardas del programa Jurisdiccional Anidado REDD+ (JNR).

9.5. Frecuencia y reporte

El sistema contempla distintos niveles de seguimiento según el tipo de indicador y la dinámica de los riesgos climáticos.

El sistema de monitoreo se estructura en diferentes niveles de seguimiento definidos en función de la naturaleza de los indicadores y de la dinámica de los riesgos climáticos identificados para el corredor.

En primer lugar, se prevé un monitoreo continuo de eventos hidrometeorológicos severos, afectaciones específicas a la transitabilidad (como desbordes en la cuenca del arroyo Piray Mini o desprendimientos en frentes basálticos) y situaciones de emergencia por incendios o tormentas. Esto permitirá activar de forma oportuna los planes de contingencia, coordinar los desvíos operativos hacia la Ruta Provincial N.º 20 y generar registros empíricos para la evaluación posterior de los impactos.

En segundo lugar, se realizará un monitoreo periódico de los indicadores de adaptación y mitigación definidos en el presente plan, con las frecuencias específicas establecidas en las matrices de monitoreo —mensuales, trimestrales, semestrales o anuales—. Este seguimiento sistemático permitirá evaluar la eficacia de las medidas estructurales y operativas implementadas y verificar el cumplimiento de las metas de resiliencia y eficiencia energética vial.

Adicionalmente, la DPV llevará adelante una revisión integral anual de los resultados obtenidos, considerando el desempeño de la infraestructura frente a las solicitudes climáticas registradas, el cumplimiento de los KPIs de mitigación y el estado general de las obras de conservación. Asimismo, se realizarán revisiones extraordinarias e informes post-evento luego de la ocurrencia de fenómenos climáticos de magnitud significativa, orientados a identificar lecciones aprendidas y debilidades estructurales o logísticas en la traza.

El sistema de monitoreo se enmarca en un enfoque de gestión adaptativa, mediante el cual la información generada es utilizada de forma sistemática para la toma de decisiones y la mejora continua del proyecto. Cuando los resultados del seguimiento evidencien desvíos respecto de las metas previstas, cambios en los escenarios climáticos locales o la aparición de nuevas vulnerabilidades territoriales, se procederá a la actualización de las medidas de adaptación y mitigación, los protocolos de seguridad vial, las frecuencias de mantenimiento de drenajes y los planes de interfaz de biomasa forestal. La trazabilidad de estas modificaciones se formalizará mediante informes técnicos específicos de la Dirección de Planificación de la DPV. De esta manera, el proyecto incorpora un ciclo continuo de monitoreo, evaluación, ajuste y actualización, fortaleciendo la resiliencia de largo plazo del corredor.

Finalmente, los resultados de las revisiones anuales y extraordinarias serán incorporados a los mecanismos institucionales de gestión del riesgo y de planificación vial de la DPV. Asimismo, estos informes consolidados serán remitidos formalmente a la Secretaría de Cambio Climático de la provincia, integrando un apartado específico sobre el cumplimiento de las salvaguardas sociales de las comunidades Mbya Guaraní y los balances de carbono del proyecto, contribuyendo así a la actualización de las métricas e instrumentos de la política climática jurisdiccional de Misiones.

9.6. Uso del sistema para la gestión adaptativa y climática

El sistema de monitoreo constituye una herramienta clave para la gestión del proyecto, en tanto permite vincular de manera directa los riesgos climáticos identificados con las medidas implementadas y sus resultados empíricos en el territorio. Adicionalmente, su principal valor radica en su capacidad para orientar la toma de decisiones ejecutivas bajo un enfoque de gestión adaptativa y oportuna.

A partir de la información generada de forma continua, la DPV estará facultada para ajustar dinámicamente las medidas de adaptación estructural frente a variaciones en la intensidad de las lluvias en la cuenca del arroyo Piray Mini, optimizar las estrategias de conservación vial y peinado de taludes basálticos, y calibrar los planes de interfaces forestales preventivas contra incendios. Asimismo, en términos de mitigación, el sistema permitirá identificar desvíos en la eficiencia del transporte de cargas y el estado del IRI en los sectores de terceras trochas, promoviendo intervenciones de bacheo y sellado térmico antes de que se incrementen las emisiones vehiculares por resistencia a la rodadura.

Este enfoque integrado permite articular la adaptación física, la mitigación de emisiones y el cumplimiento riguroso de las salvaguardas sociales de las comunidades Mbya Guaraní dentro de un mismo esquema operativo de gestión. Al asegurar una trazabilidad estricta entre las amenazas climáticas observadas, las medidas aplicadas y los impactos socioambientales medidos, el proyecto consolida un modelo de infraestructura vial climáticamente inteligente y pluricultural, plenamente capaz de sostener su conectividad, seguridad y desempeño logístico frente a los escenarios de cambio climático actuales y futuros de la provincia de Misiones.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis integral desarrollado permite concluir que el proyecto de la Ruta Provincial N° 17 se emplaza en un contexto de alta exposición y vulnerabilidad frente a amenazas climáticas específicas de la zona norte de la provincia, principalmente asociadas a lluvias intensas, crecidas repentinas de cuencas altas (como la del arroyo Piray Mini) y vientos extremos, los cuales generan afectaciones recurrentes sobre la transitabilidad, la estabilidad geotécnica y la conectividad del corredor bioceánico. Estas condiciones, sumadas a las proyecciones de cambio climático que indican una intensificación en la frecuencia y severidad de eventos hidrometeorológicos, configuran un escenario de riesgo climático significativo que compromete tanto el desempeño estructural de la calzada como el acceso a servicios esenciales, la integración de comunidades aisladas y el desarrollo de las actividades productivas y forestales de la región.

En este marco, el proyecto se posiciona como una intervención estratégica de adaptación al abordar de manera directa las limitaciones de la infraestructura existente, particularmente en lo referido a la capacidad hidráulica de las obras de arte mayores, la seguridad vial en zonas de topografía accidentada mediante la adición de terceras trochas para tránsito pesado y la resiliencia geotécnica en frentes de corte basáltico. Las medidas estructurales previstas —lideradas por la construcción del nuevo puente sobreelevado sobre el arroyo Piray Mini— permiten reducir de manera sustantiva la probabilidad de anegamientos y cortes de ruta, mientras que las medidas no estructurales fortalecen la gestión del riesgo, la operación preventiva y el mantenimiento adaptativo, contribuyendo a una mejora sostenida en la capacidad de respuesta del sistema vial.

No obstante, se reconoce que, bajo escenarios de cambio climático, persiste la posibilidad de ocurrencia de eventos extraordinarios que excedan los umbrales de diseño hidráulico o estructural, por lo que el riesgo residual no se elimina completamente. En este sentido, resulta fundamental complementar las soluciones de ingeniería civil con un enfoque de gestión adaptativa y participativa, apoyado en sistemas de monitoreo continuo, indicadores de desempeño territorial y mecanismos institucionales de ajuste operativo.

Desde la perspectiva de mitigación, el proyecto incorpora medidas concretas orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de su ciclo de vida, promoviendo prácticas de economía circular a través del uso de Pavimento

Asfáltico Reciclado (RAP), la optimización logística de insumos pesados mediante proveedores locales y el diseño de perfiles geométricos eficientes que minimizan las marchas forzadas del tránsito pesado en pendientes pronunciadas. Si bien el impacto neto del proyecto en términos de reducción directa de emisiones es acotado en comparación con su contribución prioritaria a la adaptación, su integración dentro de un enfoque de infraestructura baja en carbono resulta plenamente consistente y sinérgica con las metas del programa Jurisdiccional Anidado REDD+ (JNR) de la provincia de Misiones.

En función de lo anterior, se formulan las siguientes recomendaciones:

- **Fortalecer la implementación de las medidas de adaptación:** Priorizar aquellas de carácter estructural vinculadas al drenaje mayor (puente Piray Mini), la estabilidad geotécnica de cortes rocosos y la adecuación geométrica en pendientes, por su alto impacto directo en la reducción del riesgo de colapso físico o interrupción del corredor.
- **Asegurar la sostenibilidad de las obras en el tiempo:** Garantizar la asignación de recursos presupuestarios adecuados para el mantenimiento preventivo e intensivo de la faja de dominio, especialmente en la desobstrucción de alcantarillas y el peinado de taludes para mitigar la erosión.
- **Consolidar el sistema de monitoreo e indicadores:** Implementar de manera efectiva las herramientas técnicas de seguimiento (IRI, PCI, teledetección), asegurando la generación de información sistemática que permita evaluar el desempeño del proyecto y ajustar las medidas de conservación de manera oportuna.
- **Institucionalizar las salvaguardas sociales:** Asegurar el funcionamiento de los mecanismos de monitoreo participativo y comunicación con las comunidades indígenas del pueblo Mbya Guaraní asentadas en el entorno de la traza, resguardando sus recursos tradicionales y su seguridad ante contingencias climáticas.
- **Optimizar la coordinación interinstitucional:** Articular de forma permanente a la DPV con la Secretaría de Cambio Climático, la Dirección General de Alerta Temprana, Protección Civil y los municipios de Eldorado y Pozo Azul para una gobernanza integrada del riesgo y la operación pautada de desvíos hacia la RP 20 ante emergencias.
- **Capitalizar las lecciones aprendidas:** Promover la incorporación sistemática de estos criterios de resiliencia climática e infraestructura verde/pluricultural

en futuros proyectos de la red vial provincial, tomando como referencia técnica la experiencia de la Ruta Provincial N° 17.

- **Avanzar en medidas de mitigación costo-efectivas:** Fiscalizar el cumplimiento de las metas de economía circular (RAP) y eficiencia en obradores durante la etapa constructiva, minimizando la huella de carbono de la obra civil.
- **Validar los mecanismos de compensación forestal:** Ejecutar el plan de forestación compensatoria priorizando el enriquecimiento con especies nativas de la selva paranaense, articulando los resultados con los registros contables de carbono de la provincia.

En síntesis, el proyecto de la Ruta Provincial N° 17 no solo responde a una problemática histórica de vulnerabilidad física ante eventos hidrometeorológicos y aislamiento territorial en el norte misionero, sino que también sienta las bases para una gestión climática vial de vanguardia, integrando de manera coherente la adaptación de la infraestructura, la mitigación de emisiones y el respeto a la diversidad sociocultural del territorio.

11. Bibliografía

- Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). *Guías para el Marco de Política Ambiental y Social del Banco Interamericano de Desarrollo*. Recuperado el febrero de 2026, de Sitio web del Banco Interamericano de Desarrollo: <https://www.iadb.org/document.cfm?id=EZS>
- CEPAL. (2011). *Metodología general para la formulación y evaluación de proyectos de inversión pública*. (I. L. (ILPES), Ed.) Obtenido de Sitio Web de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe: https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/methodology/metodologia_general_proyectos.pdf
- Gobierno de la Provincia de Misiones. (2018). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero de la Provincia de Misiones – Año 2018*. Obtenido de Sitio web de la Secretaría de Cambio Climático: <https://cambioclimatico.misiones.gob.ar/igei-provincia-de-misiones-2018/>
- IAPG . (2020). *Práctica Recomendada PRIAPG-SC 20-2020. Realización de inventarios de gases de efecto invernadero en actividades de exploración y producción de hidrocarburos y procesamiento de gas*. Obtenido de Sitio web del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas: <https://www.iapg.org.ar/sectores/practicas/PRSC202020.pdf>
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy. Chapter 3: Mobile Combustion*. Obtenido de Intergovernmental Panel on Climate Change WWeb Site: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press. doi:<https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- IPCC. (2021–2023). *Sixth Assessment Report (AR6)*. Obtenido de Intergovernmental Panel on Climate Change Web Site: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- Kazimierski, L. D. (2026). *Consultoría en hidrología y cambio climático. Programa AR-L1437: Renovación integral de la Ruta Provincial N°17, la Ruta Nacional N°14 y reconstrucción del puente sobre el arroyo Piray Mini, provincia de Misiones*. Informe técnico elaborado para la Dirección Provincial de Vialidad de Misiones y el Banco Interamericano de Desarrollo.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Sistema de Mapas de Riesgo del Cambio Climático*. Obtenido de Metodología SIMARCC 2020 (Fase 3) Generación de Nuevos Mapas de Cambio Climático:
http://devministerio.ecoclimasol.com/app3com/assets/docs/Metodologia_SIMARCC_2020.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (22 de Noviembre de 2019). *Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático*. Recuperado el 26 de 01 de 2021, de Portal oficial del Estado argentino:
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_nacional_de_adaptacion_y_mitigacion_al_cambio_climatico_2019.pdf
- Patel, P. (2019). *Paving the Road To Fewer Carbon Emissions*. Obtenido de Anthropocene Magazine Web Site:
<https://www.anthropocenemagazine.org/2019/01/paving-the-road-to-fewer-emissions/#:~:text=Smoothly%20paved%20roads%20could%20save,after%20four%20common%20treatment%20methods>.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2014). *Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. "Cambio Climático en Argentina; Tendencias y Proyecciones"*. Buenos Aires, Argentina.: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera. Obtenido de
http://3cn.cima.fcen.uba.ar/3cn_informe.php
- Subsecretaría de Ambiente de la Nación. (2026). *Desarrollo Sostenible y Gestión Climática*. Obtenido de Portal oficial del Gobierno de la República Argentina:
<https://www.argentina.gob.ar/jefatura/turismo-y-ambiente/ambiente/desarrollo-sostenible-y-gestion-climatica>
- UNFCC. (s.f.). *¿Qué es el Acuerdo de París?* Obtenido de Sitio web de la Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático:
<https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>
- Wang, X., Duan, Z., Wu, L., & Yang, D. (2015). Estimation of carbon dioxide emission in highway construction: A case study in southwest region of China. *Journal of Cleaner Production*, 103, 705-714.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.030>
- White, P., Golden, J. S., Biligiri, K. P., & Kaloush, K. (2010). Modeling climate change impacts of pavement production and construction. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 776–782. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.12.007>



Consultores
del Guayrá S.R.L.

**Estudios Ambientales y Sociales en el marco del
proyecto de Construcción del Puente sobre
Arroyo Piray Mini, Rehabilitación de la Ruta
Provincial N°17 y Obras Complementarias**

Lic. Lautaro
Sosa

Ing. Luis Faut

Lic. Jaime
Bremm

Mag. Ing.
Cecilia
Puchalski

Geól. Mónica
krioka

Dra. Ana Honfi

Dr. Julio Daviña