



Análisis de Emisiones de Alta Resolución Espacial en Carreteras, Puertos y Aeropuertos en Chile (2015–2050)



David Bevilacqua^{1,2}, Mauricio Osses^{1,2}, Marcos Pereira^{1,2}, Benjamín Jiménez¹, Tomás Núñez¹, Claudio Flores¹



¹UTFSM – Universidad Técnica Federico Santa María
²Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2).

Antecedentes

- El sector transporte representa una proporción significativa de las emisiones de GEI y contaminantes locales en Chile, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas, principales autopistas, puertos y aeropuertos.
- La necesidad de inventarios con desagregación espacial detallada es crucial para formular políticas eficaces.

Métodos

Modo de Transporte	Metodología Base	Fuentes y Datos Utilizados
Terrestre 🚗	COPERT 5 adaptado a condiciones locales	Flota vehicular (INE, 3CV), consumo de combustible (SEC), red vial (MOP, OSM)
Aéreo ✈️	EMEP/EEA Tier 3 + ICAO	Datos de vuelos (JAC, DGAC), rutas (FlightAware), PKM, tipo de aeronave
Marítimo 🚢	EMEP/EEA + SMED/ENTEC UK	Recaladas y tonelaje (DIRECTEMAR), rutas marítimas (MarineTraffic), TKM

Tabla 1: Resumen de la metodología empleada para cada modo de transporte analizado.

Resultados Transporte Terrestre

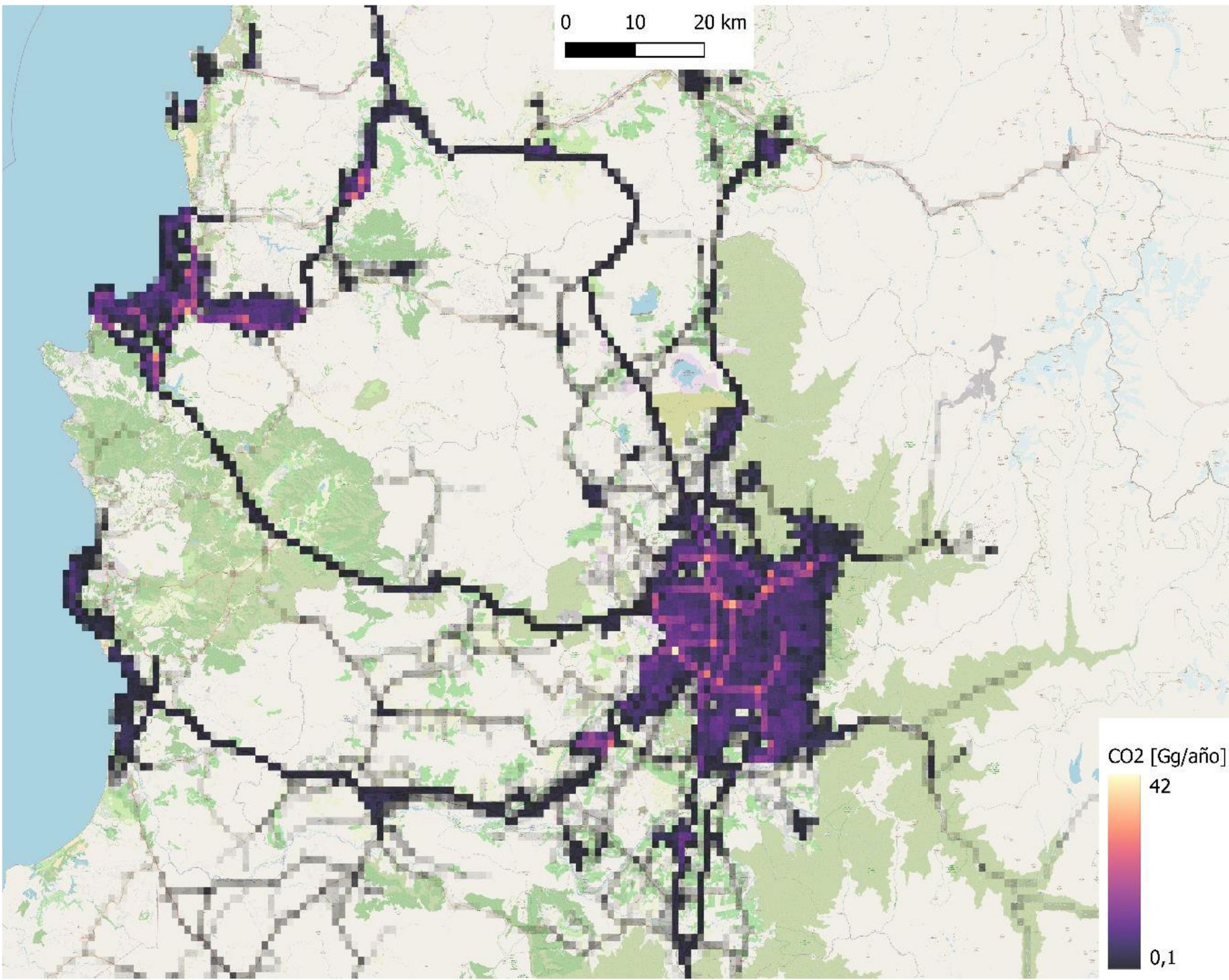


Figura 1: Emisiones de CO₂ totales para la Región Metropolitana y Valparaíso en el año 2022.

Sin medidas efectivas, las emisiones del transporte terrestre podrían superar los 22 MtCO₂ al 2050; pero con electromovilidad y medidas de cambio conductual, Chile podría reducir más de 10 MtCO₂ y cumplir su meta sectorial de carbono-neutralidad.

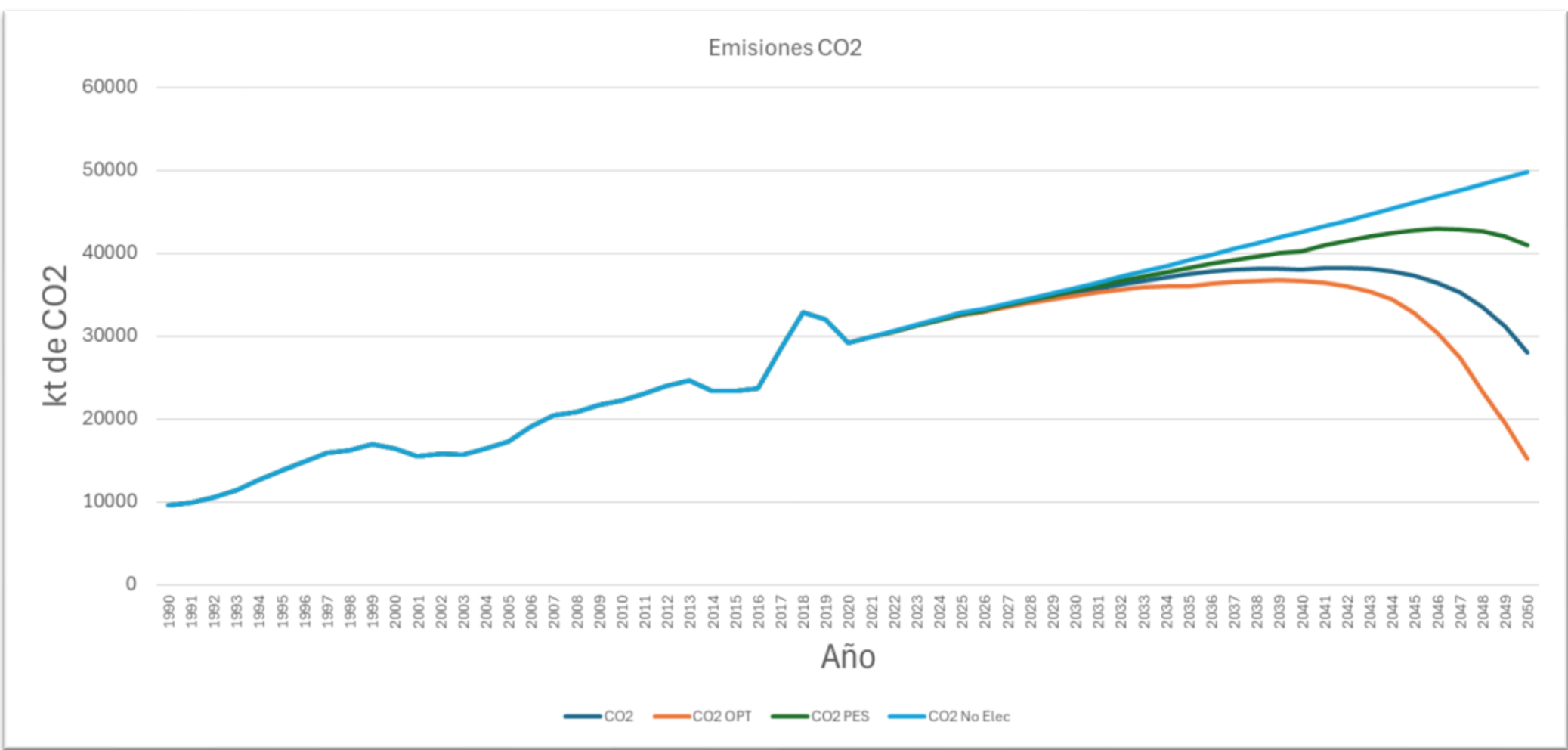


Figura 2: Emisiones totales de CO₂ 1990-2050 bajo distintos escenarios.

Resultados Transporte Marítimo

Gas contaminant e	2020 [Ton]	2030 [Ton]	2040 [Ton]	2050 [Ton]
CO2	938.792	1.229.946	1.524.478	1.946.992
Nox	20.466	26.899	33.631	43.359
Sox	9.793	13.002	16.655	21.846
CO	1.224	1.621	2.031	2.606

Tabla 2: Proyección de emisión gases contaminantes anuales del modo marítimo a nivel nacional.

Iquique–San Antonio lidera entre las rutas nacionales más emisoras, alcanzando 45.191 toneladas de CO₂ en un solo año. La proyección al 2050 demuestra que, sin medidas correctivas, el transporte marítimo seguirá siendo un componente estructural de las emisiones del sector transporte en Chile, siendo los puertos de Valparaíso y San Antonio los que concentran las mayores emisiones, posicionándolos como puntos clave para la implementación de medidas de eficiencia energética y combustibles alternativos

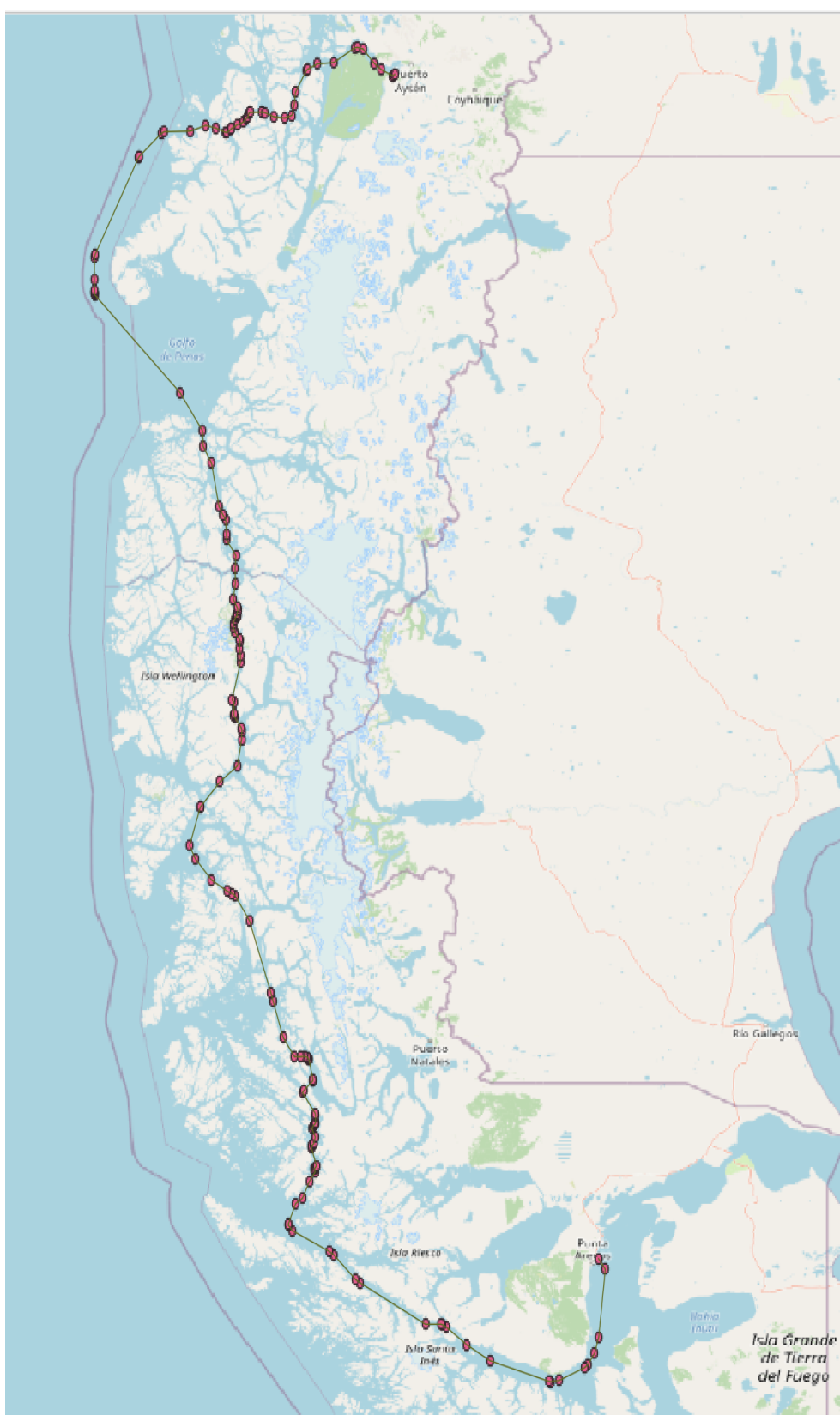


Figura 3: Principales rutas marítimas de Chile.

Resultados Transporte Aéreo

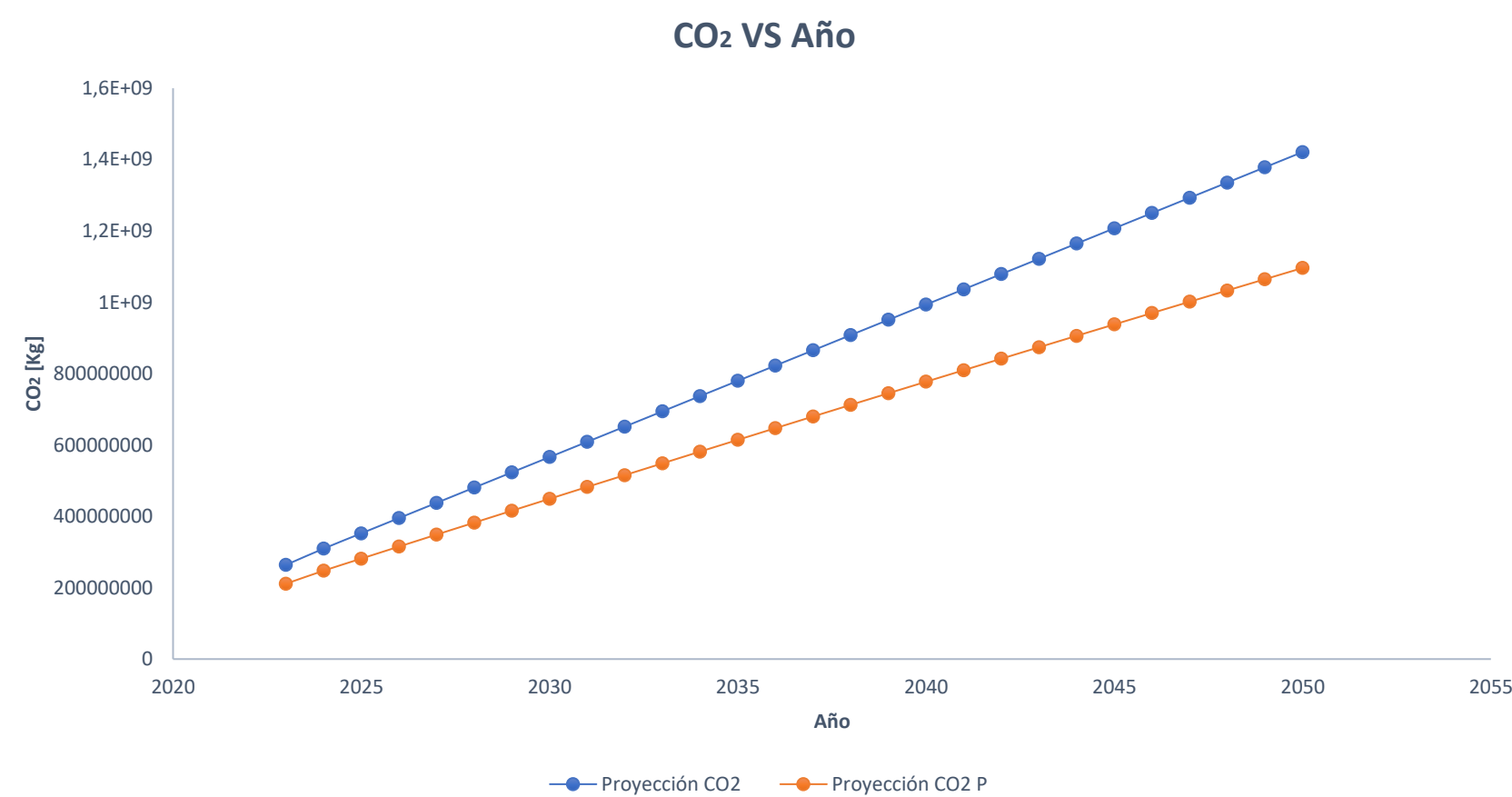


Figura 4: Gráfico comparativo de proyección de emisiones CO₂ al 2050, considerando proyección normal vs proyección con cambio gradual a NEO LTO nacional y disminución de 20% de vuelos.

Las proyecciones al año 2050 revelan un aumento significativo en las emisiones del transporte aéreo. El Aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB) es el principal nodo emisor del país debido al alto volumen de operaciones, destacando por sus altos niveles de CO₂ y PM_{2.5}. La ruta Santiago–Antofagasta lidera en vuelos nacionales. Sin mitigación, la huella de carbono se duplicará. No obstante, la introducción de aeronaves más eficientes —como la familia Airbus NEO— podría reducir las emisiones de CO₂ en un 22%, de NO_x en un 26% y de HC en un 46 %, posicionando a la tecnología como eje central de la descarbonización aérea.

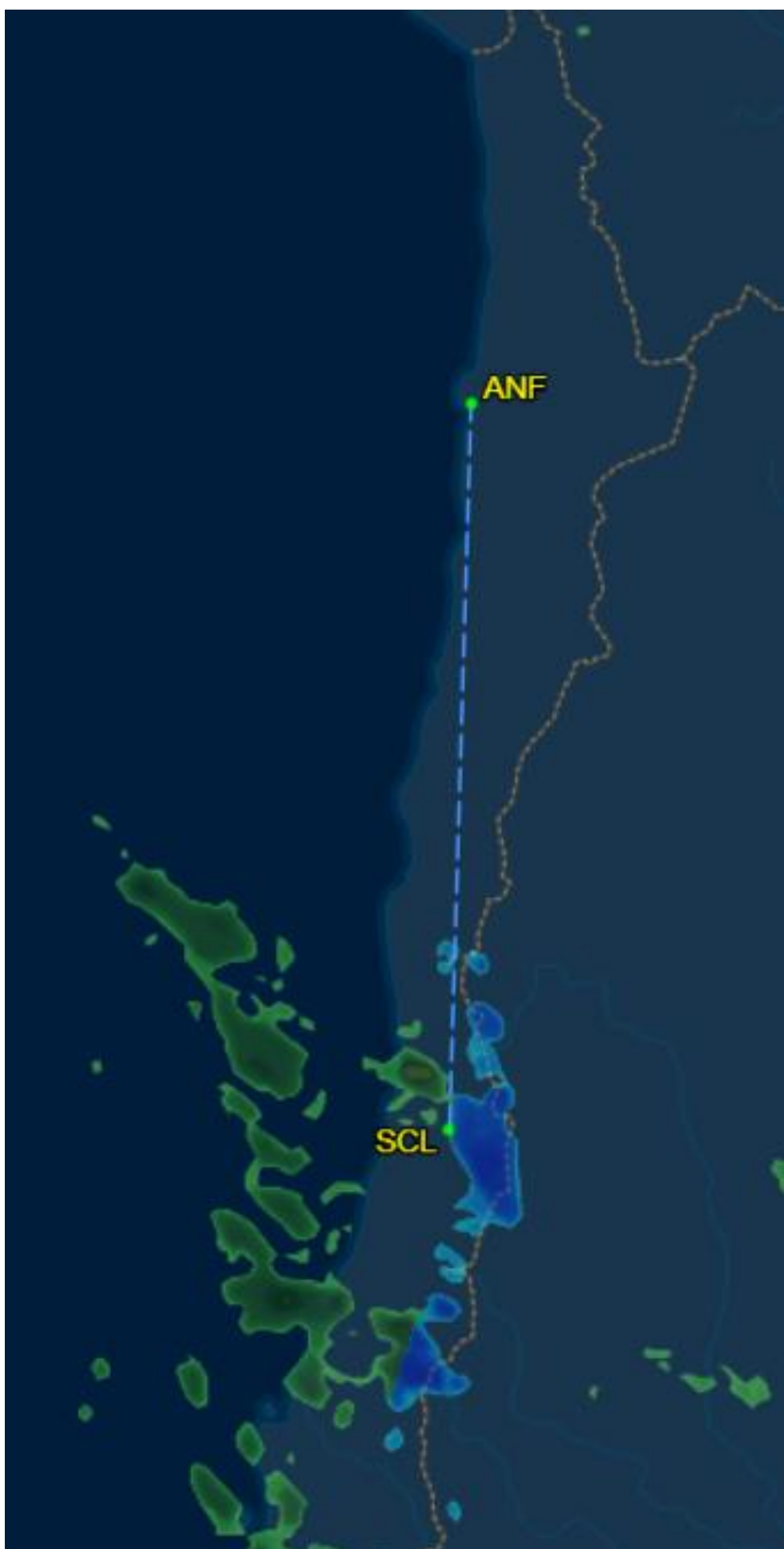


Figura 5: Ruta aérea más contaminante de Chile.

Implicaciones

- La planificación del transporte requiere una integración urgente entre proyecciones de demanda y estimaciones de emisiones con alta resolución espacial, especialmente en zonas urbanas críticas como Santiago, Valparaíso y Antofagasta.
- Las políticas de mitigación deben priorizar la transición tecnológica de flotas en todos los modos de transporte, siendo clave la electrificación del parque vehicular y la renovación de aeronaves y embarcaciones con tecnologías más limpias.
- El uso de metodologías unificadas y herramientas de georreferenciación permite identificar rutas, nodos y modos más contaminantes, facilitando la implementación de zonas de bajas emisiones y políticas regionales diferenciadas.
- Los resultados del modelo sirven como línea base para evaluar el cumplimiento de los compromisos climáticos de Chile al 2050, especialmente en el contexto de la NDC y del Acuerdo de París.

Referencias y Agradecimientos

Agradecer el apoyo otorgado por las becas académicas y de investigación **Programa PIIC UTFSM (2024-1)** y **Fondo de Apoyo a Viajes Académicos Estudiantiles (2025-1)**, otorgadas por la Universidad Técnica Federico Santa María. Asimismo, se agradece el respaldo del **Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)**, financiado por el programa **FONDAP No. 1523A0002**, así como el apoyo del proyecto **Fondecyt Regular No. 1241477**, que han permitido fortalecer la investigación en modelación y evaluación de emisiones del sector transporte en Chile.



Escanea este código QR para acceder a las referencias completas del estudio.