

El Ministerio de Obras Públicas de Chile y el BID te invitan:

Serie de Conversatorios: Planificación de la Movilidad Sostenible en Chile



Chile
en marcha



01 Dic 2020

14:00 Chile /
12:00 Washington DC

**Sesión 1: Plan Nacional de
Infraestructura para
la Movilidad (PNIM) 2020-2050**



10 Dic 2020

14:00 Chile /
12:00 Washington DC

**Sesión 2: Modelo de
cuantificación de
emisiones del PNIM 2050**

Sesión conjunta con el MOP y la Universidad Técnica Federico Santa María, sobre el modelo de cuantificación de emisiones desarrollado para el PNIM 2020-2050.

Mauricio Osses
Universidad Técnica Federico
Santa María

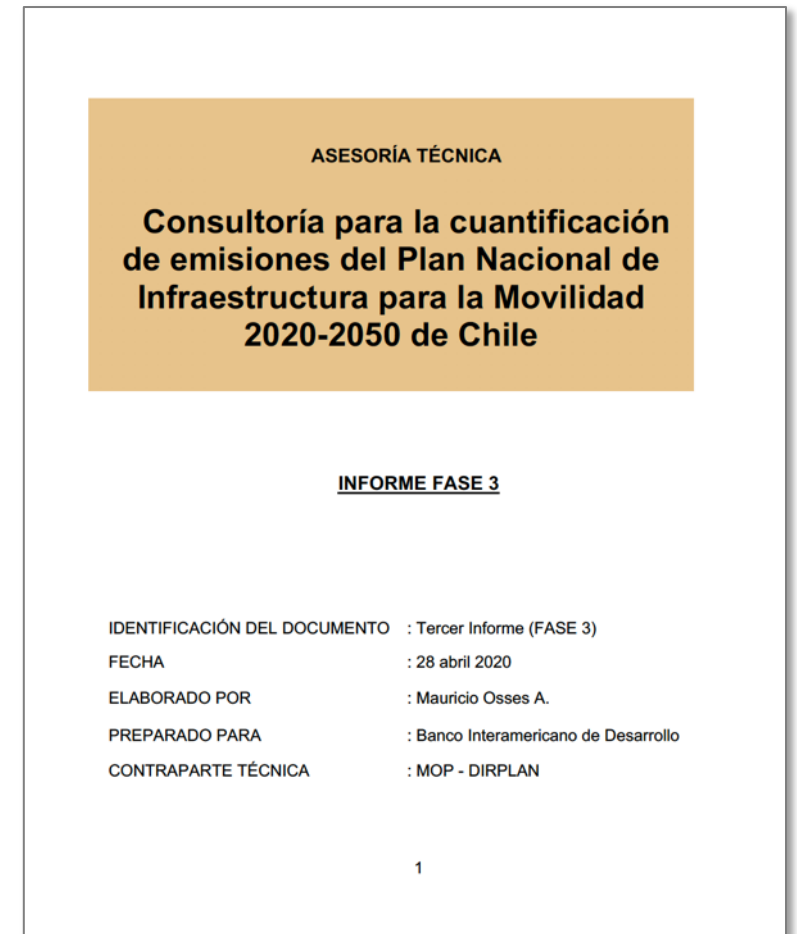
Contenidos

- Objetivos
- Metodología
- Resultados
- Conclusiones



Objetivo general

Definir la metodología a emplear y aplicarla para cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2050.



Objetivos específicos

- **Identificar escenarios** tecnológicos/regulatorios que impactarían en la movilidad y metas de descarbonización en Chile, y que inciden en la sostenibilidad del PNIM.
- **Definir una metodología** para cuantificar las emisiones de los proyectos según distintas alternativas de planes a evaluar.
- **Establecer criterios de decisión**, indicaciones y recomendaciones específicas a tener presentes para la posterior implementación del PNIM 2050, en relación al control y/o regulaciones en el ámbito de las emisiones.

Metodología – PNIM 2050

- Plan de carácter **nacional** y **estratégico**.
- Modelación enfocada en movilidad **interurbana**.
- Integración **multimodal**: transporte vial, ferroviario, aéreo, marítimo.
- Plan de **largo plazo** a 30 años (2050)
- Permite aportar al **crecimiento** del PIB.
- Permite aportar a la **sostenibilidad**.



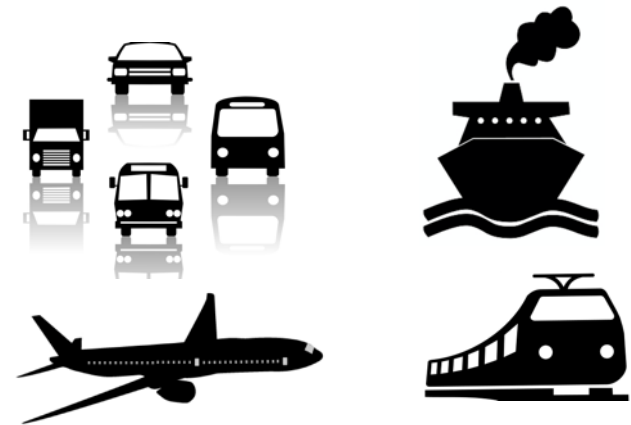
Metodología – Modelo de simulación

- **Modelo económico:** matriz insumo producto (MIP). Determina las toneladas que se producen-consumen en los orígenes y destinos de carga y pasajeros.
- **Modelo de transporte:** se determinan las rutas desde los lugares de la producción (u origen) hasta los lugares de consumo (o destino). Matrices a nivel provincial (90 zonas).



Metodología – Modos de transporte

- La identificación de escenarios con horizonte 2050 se aplica a todos los modos de transporte incluidos en los planes de movilidad:
 - Interzonal, intrazonal
 - Vial en ruta (VL, BUS, C2E, CM2)
 - Aéreo (CCD, LTO)
 - Marítimo (océano, puertos)
 - Ferroviario (pasajeros, carga)
- Maquinaria fuera de ruta y movimientos internacionales no se incluyen en el análisis.



Metodología – Compuestos considerados

Modo	Categoría	Unidad	CO2	MP2.5	NOx	CO	SOx	CN	HC	CH4
Vial	VL	g/vkm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	BUS		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	C2E		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	CM2		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aéreo	CCD	g/pkm	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
	LTO	g/pax	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Marítimo	Océano	g/tkm	✓	✓	✓	✓	✓			
	Puertos	g/ton	✓	✓	✓	✓	✓			
Ferroviario	Pasajeros	g/pkm	✓	✓	✓			✓	✓	
	Carga	g/tkm	✓	✓	✓			✓	✓	

GEI

CCVC

GEI

Metodología - Escenarios

- **Escenario Bajo Carbono:** alineado con las políticas de carbono neutralidad de Chile para el sector transporte al año 2050.
- **Escenario Conservador:** adopción tardía o con menor penetración de las medidas de reducción de emisiones en el sector transporte, comparada con aquellas adoptadas en el caso más ambicioso de neutralidad al 2050.



Metodología - Medidas

- **Medidas de carácter regulatorio:** aquellas en las cuales existe un marco jurídico que permita asignar responsabilidades específicas para su implementación en todo el territorio nacional.
- **Medidas de fomento tecnológico:** aquellas que forman parte de una política de Estado de difusión del uso de una tecnología, siendo su implementación de carácter voluntario.



Metodología - Medidas



Transporte	Medida	Descripción
Vial	TV1	Norma de emisiones EURO/EPA
	TV2	Electromovilidad (baterías, hidrógeno)
Marítimo	TM1	Combustible bajo contenido de azufre
	TM2	Embarcaciones de carga propulsados con hidrógeno
	TM3	Mayor capacidad de carga
Aéreo	TA1	Renovación de flota con motores más eficientes
	TA2	Mayor factor de ocupación
Ferroviario	TF1	Mayor proporción de trenes eléctricos

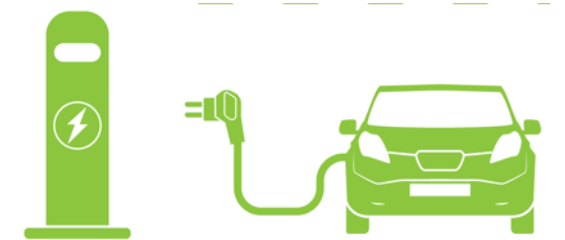


Escenarios – transporte vial

Escenarios transporte vial

Escenario Bajo Carbono

- Implementación norma EURO 6/VI en Chile el **2023**
- **100%** de transporte público eléctrico para el 2040
- **50%** de vehículos privados para el 2050
- **50%** de camiones pesados a hidrógeno para el 2050.




Escenario Conservador

- Implementación norma EURO 6/VI en Chile el **2030**
- **100%** de transporte público eléctrico para el 2040
- **30%** de vehículos privados para el 2050
- **10%** de camiones pesados a hidrógeno para el 2050.



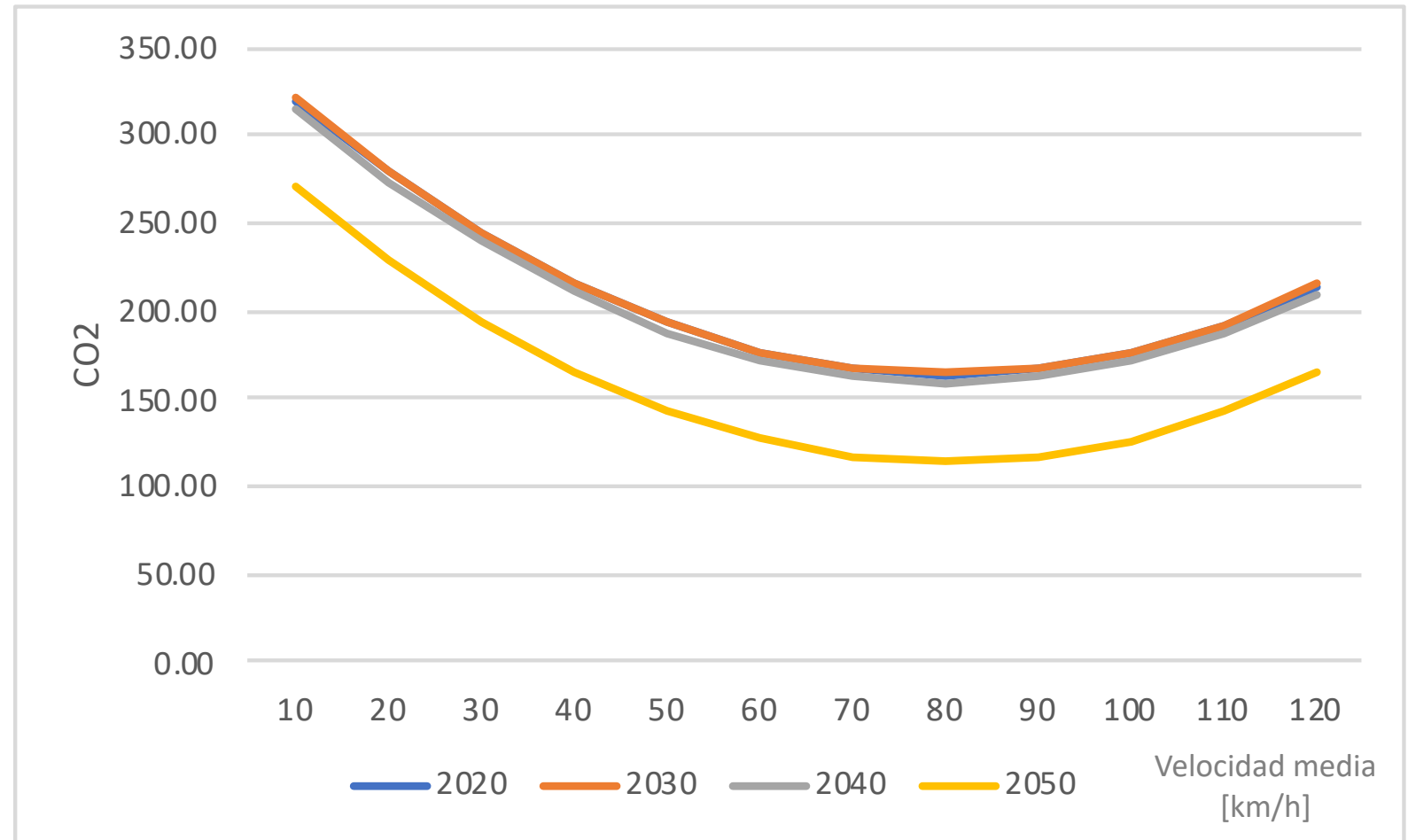
Metodología – Factores CO₂ vial inter/intra



Transporte Vial		2020		2030		2040		2050		Unidad
		Bajo Carbono	Conservador	Bajo Carbono	Conservador	Bajo Carbono	Conservador	Bajo Carbono	Conservador	
Interzonal	VL	177	177	177	177	172	174	118	143	g/vkm
	BUS	625	625	619	619	607	610	496	548	
	C2E	598	598	592	592	580	583	469	521	
	CM2	660	660	654	654	642	645	530	583	
Intrazonal	VL	240	240	240	240	232	233	173	192	
	BUS	1171	1171	1093	1093	940	948	832	854	
	C2E	471	471	466	466	456	459	360	405	
	CM2	1113	1113	1096	1097	1057	1081	694	1007	

Metodología – Factores CO₂ vial interzonal

Contaminante	Ambito	Categoría	Velocidad	2020	2030	2040	2050	Unidades
CO ₂	Interzonal	VL	10	320.14	320.31	315.38	270.03	g/km.veh
			20	278.72	278.89	273.97	228.62	
			30	243.67	243.84	238.92	193.57	
			40	214.98	215.15	210.23	164.88	
			50	192.65	192.82	187.89	142.54	
			60	176.68	176.85	171.92	126.57	
			70	167.06	167.23	162.31	116.96	
			80	163.81	163.98	159.06	113.71	
			90	166.92	167.09	162.17	116.82	
			100	176.39	176.56	171.63	126.28	
			110	192.22	192.39	187.46	142.11	
			120	214.40	214.57	209.65	164.30	
		BUS	10	1714.25	1707.41	1688.36	1546.95	
			20	1415.45	1408.61	1389.56	1248.15	
			30	1157.11	1150.27	1131.22	989.81	
			40	939.23	932.39	913.34	771.93	
			50	761.81	754.97	735.92	594.51	
			60	624.85	618.01	598.96	457.55	
			70	528.35	521.51	502.46	361.05	
			80	472.31	465.47	446.42	305.01	
			90	456.73	449.89	430.84	289.43	
			100	481.61	474.77	455.72	314.31	
			110	546.95	540.11	521.06	379.65	
			120	652.75	645.91	626.86	485.45	
		CZE	10	892.53	887.26	875.04	782.45	
			20	719.85	714.58	702.36	609.77	
			30	580.55	575.28	563.06	470.47	
			40	474.63	469.36	457.14	364.55	
			50	402.09	396.82	384.60	292.01	
			60	362.93	357.66	345.44	252.85	
			70	357.15	351.88	339.66	247.07	
			80	384.75	379.48	367.26	274.67	
			90	445.73	440.46	428.24	335.65	
			100	540.09	534.82	522.60	430.01	
			110	667.83	662.56	650.34	557.75	
			120	828.95	823.68	811.46	718.87	
		CM2	10	1424.23	1410.53	1397.71	1338.84	
			20	1222.13	1208.43	1195.61	1136.74	
			30	1046.85	1033.15	1020.33	961.46	
			40	898.39	884.69	871.87	813.00	
			50	776.75	763.05	750.23	691.36	
			60	681.93	668.23	655.41	596.54	
			70	613.93	600.23	587.41	528.54	
			80	572.75	559.05	546.23	487.36	
			90	558.39	544.69	531.87	473.00	
			100	570.85	557.15	544.33	485.46	
			110	610.13	596.43	583.61	524.74	
			120	676.23	662.53	649.71	590.84	
	Intrazonal	VL	30	240.33	239.36	228.99	170.39	
		BUS	26	1171.03	1056.50	752.97	615.93	
		CZE	26	470.60	465.33	453.10	360.52	
		CM2	26	821.98	806.34	790.50	716.12	





Escenarios – transporte aéreo

Escenarios transporte aéreo

Escenario Bajo Carbono

- Recambio acelerado de flota incorporando un mayor número de **aviones más eficientes** a la flota y disminuyendo la participación de aviones mas antiguos. Además, se considera un **factor de ocupación** creciente con un aumento de **6 puntos porcentuales** en el periodo 2020-2050.

Escenario Conservador

- Recambio paulatino de flota incorporando de forma más conservadora los nuevos modelos de avión y reduciendo la salida de aviones más antiguos. Con respecto al **factor de ocupación** se mantiene **constante** durante el periodo 2020-2050.

Escenarios transporte aéreo

Tabla 18: Reducción factores de emisión transporte aéreo

Ambito	Contaminante	Porcentaje reducción			
		2020	2030	2040	2050
CCD	CO2	10%	15%	17%	18%
	HC	10%	19%	20%	23%
	NOx	10%	15%	18%	19%
	MP2.5	10%	12%	15%	16%
	CO	10%	17%	19%	21%
LTO	CO2	10%	14%	16%	17%
	HC	10%	20%	21%	24%
	NOx	10%	14%	17%	18%
	MP2.5	10%	13%	17%	18%
	CO	10%	16%	17%	19%



Escenarios transporte marítimo

Escenarios transporte marítimo

- **Escenario Bajo Carbono**
- Contenido de **azufre de 0,5%** para combustible de motores principales al año **2020**.
- **Escenario Conservador**
- Contenido de **azufre de 0,5%** para combustible de motores principales al año **2023**.



Escenarios transporte marítimo

- Se considera que las flotas de barcos presentes en Chile irán aumentando su capacidad de transporte incorporando embarcaciones que tengan una **mayor capacidad de carga**.
- Incorporación de un **factor de ocupación** de las embarcaciones. Para el caso optimista el factor de ocupación irá aumentando con el tiempo y para el caso pesimista este factor irá bajando su valor en el período 2020-2050.
- Incorporación de un **buque de carga equipado con hidrógeno** como fuente de alimentación. Se considera que este tipo de barco tendrá una capacidad de 200.000 [ton] y se encuentra en el grupo de barcos que tienen una mayor capacidad de carga.

Escenarios transporte marítimo

Tabla 16: Reducción factores de emisión transporte marítimo

Ambito	Contaminante	Porcentaje reducción			
		2020	2030	2040	2050
Oceano	CO2	0%	15%	25%	32%
	NOx	0%	15%	25%	32%
	CO	0%	15%	25%	32%
	SOx	0%	15%	24%	32%
	MP2.5	0%	15%	25%	33%
Maniobras + Puerto	CO2	0%	12%	19%	25%
	NOx	0%	12%	19%	25%
	CO	0%	12%	20%	25%
	SOx	0%	12%	19%	25%
	MP2.5	0%	12%	20%	25%



Escenarios transporte ferroviario

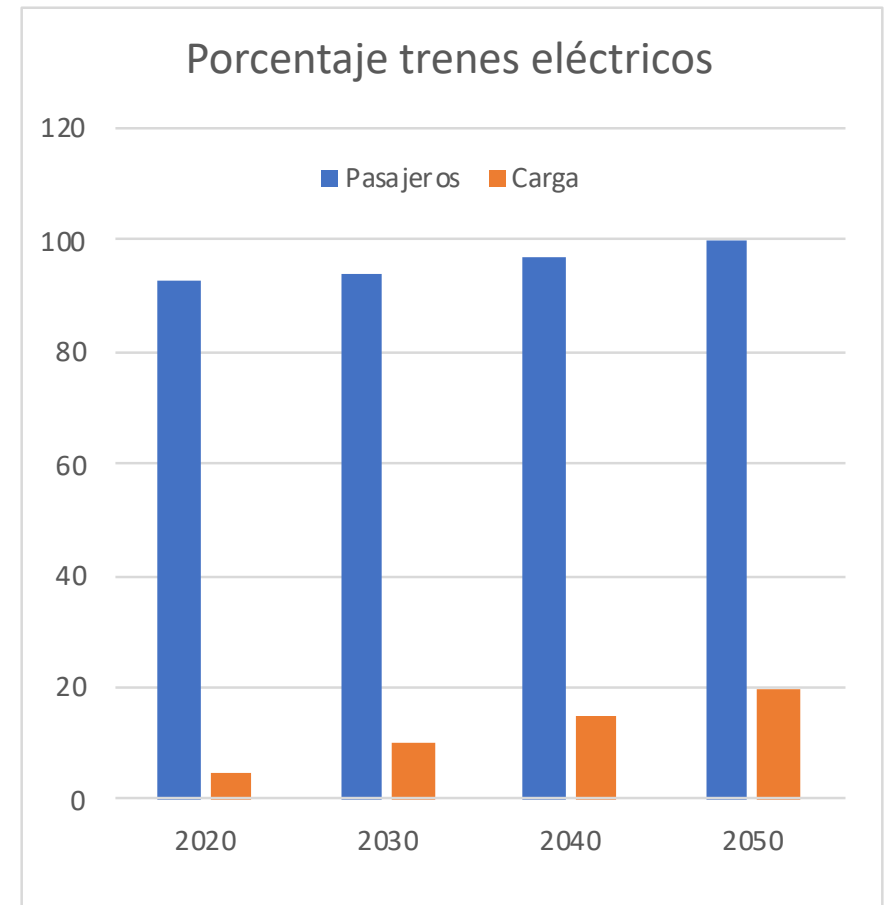
Escenarios transporte ferroviario

Escenario Bajo Carbono

- **Crecimiento** de la participación de **locomotoras eléctricas** en el área de transporte de pasajeros (93 → 100%) y carga (5 → 20%) para el año 2050.


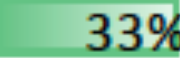
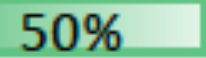












Escenario Conservador

- Crecimiento de la participación de locomotoras eléctricas en el área de transporte de pasajeros (93 → 100%) y carga (5 → **10%**) para el año 2050.



Escenarios transporte ferroviario

Tabla 20: Reducción factores de emisión transporte ferroviario

Categoria	Contaminante	Porcentaje reducción			
		2020	2030	2040	2050
Pasajeros	CO2	0%	 5%	 33%	 50%
	HC	0%	0%	0%	
	NOX	0%	0%	0%	
	MP2.5	0%	0%	0%	
Carga	CO2	0%	 3%	 7%	 11%
	HC	0%	 3%	 8%	 11%
	NOX	0%	 3%	 8%	 11%
	MP2.5	0%	 3%	 8%	 11%

Resultados y Conclusiones

The background of the slide is a dark teal color. It features a central illustration of a person's hands in a dark suit, drawing a red line graph on a piece of graph paper. The left hand is holding the paper steady, while the right hand uses a red marker to draw the line. The line graph shows a fluctuating upward trend. Surrounding this central image are various white line-art icons: a thumbs-up, a pie chart, a 3D bar chart, a calculator, a magnifying glass over a bar chart, a flowchart with nodes A, B, and C, a clock, an envelope, and several arrows pointing in different directions.

Resultados Factor de emisión promedio

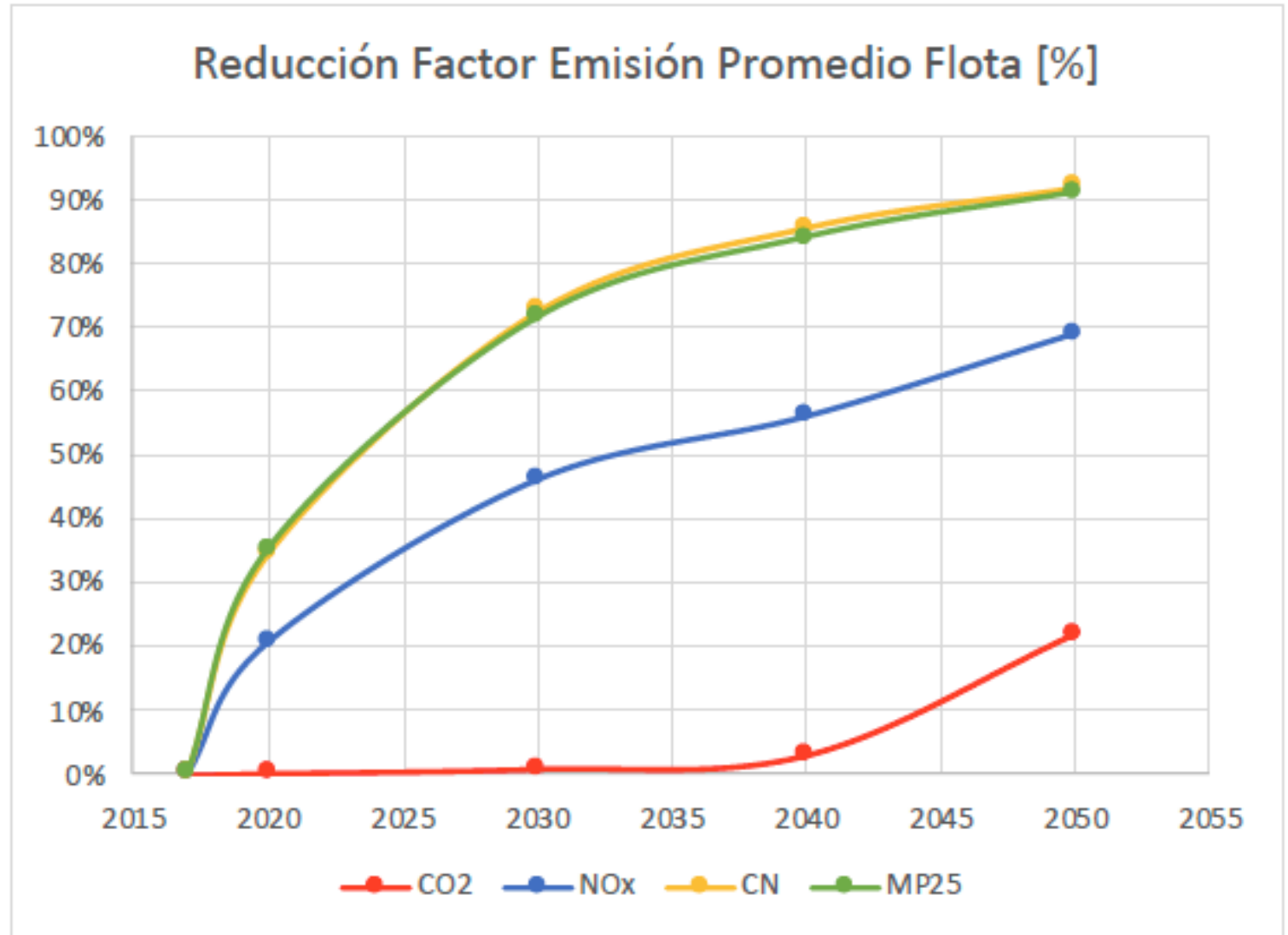
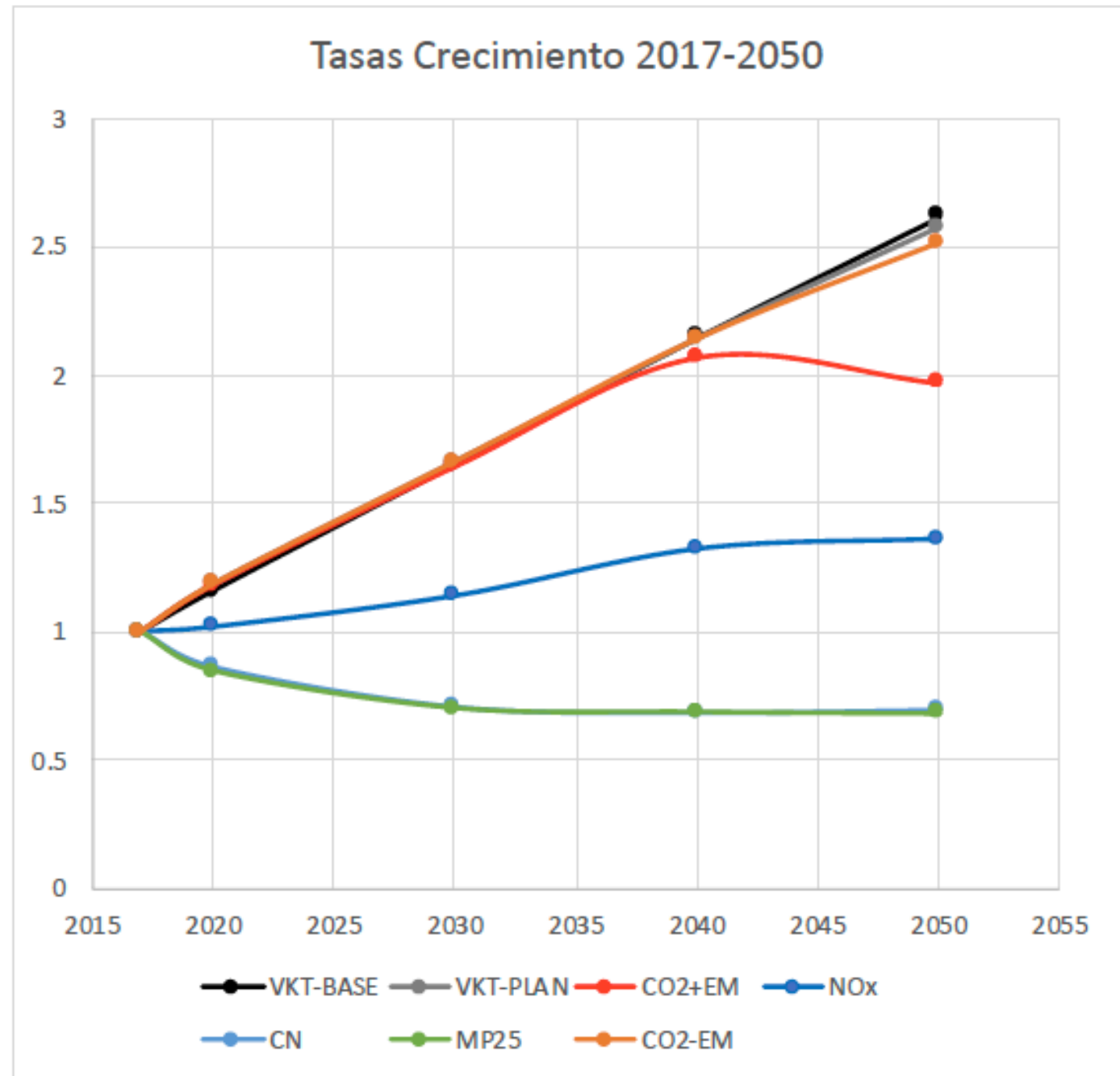
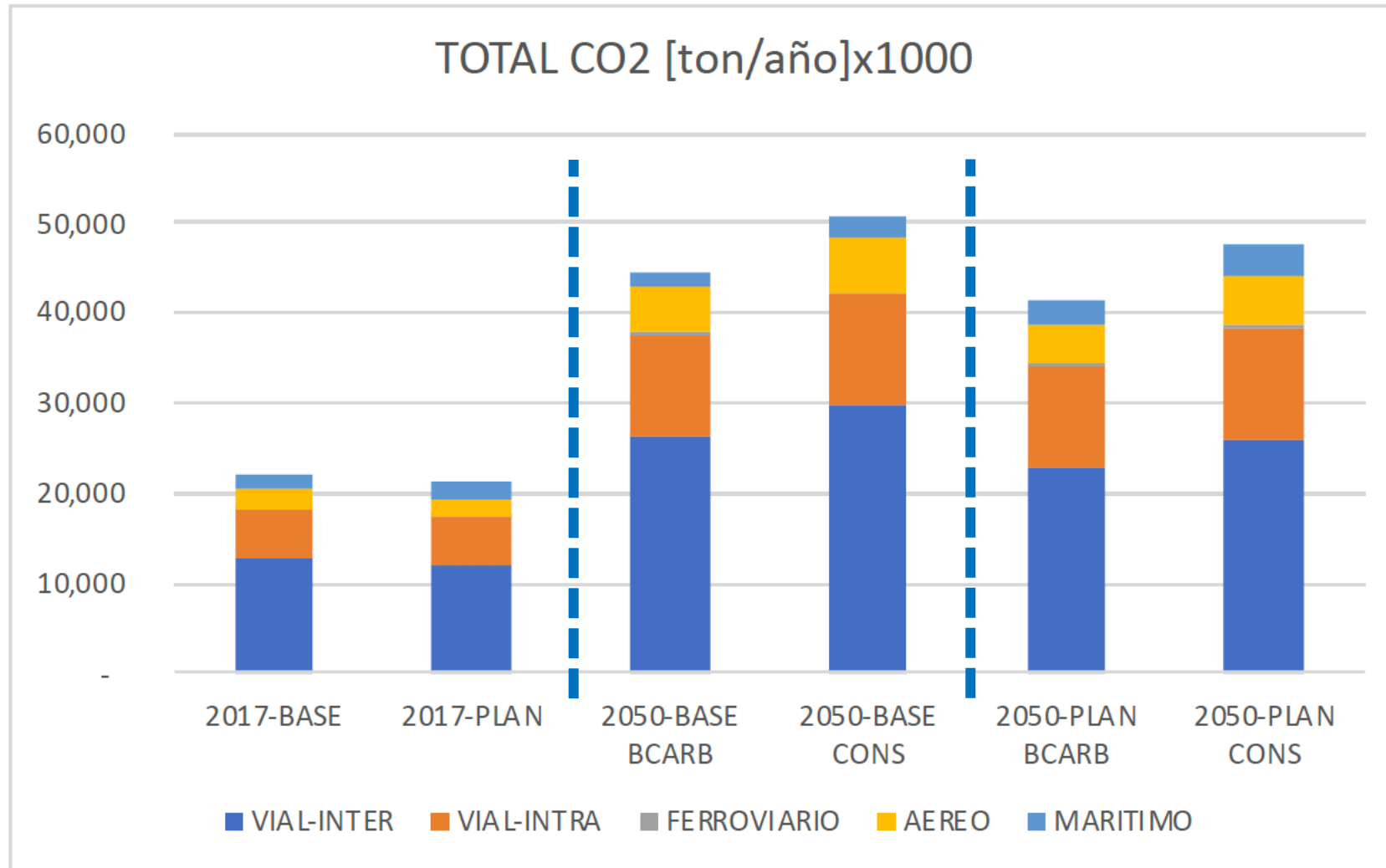


Figura 21: Tendencias en la reducción de factores de emisión promedio.

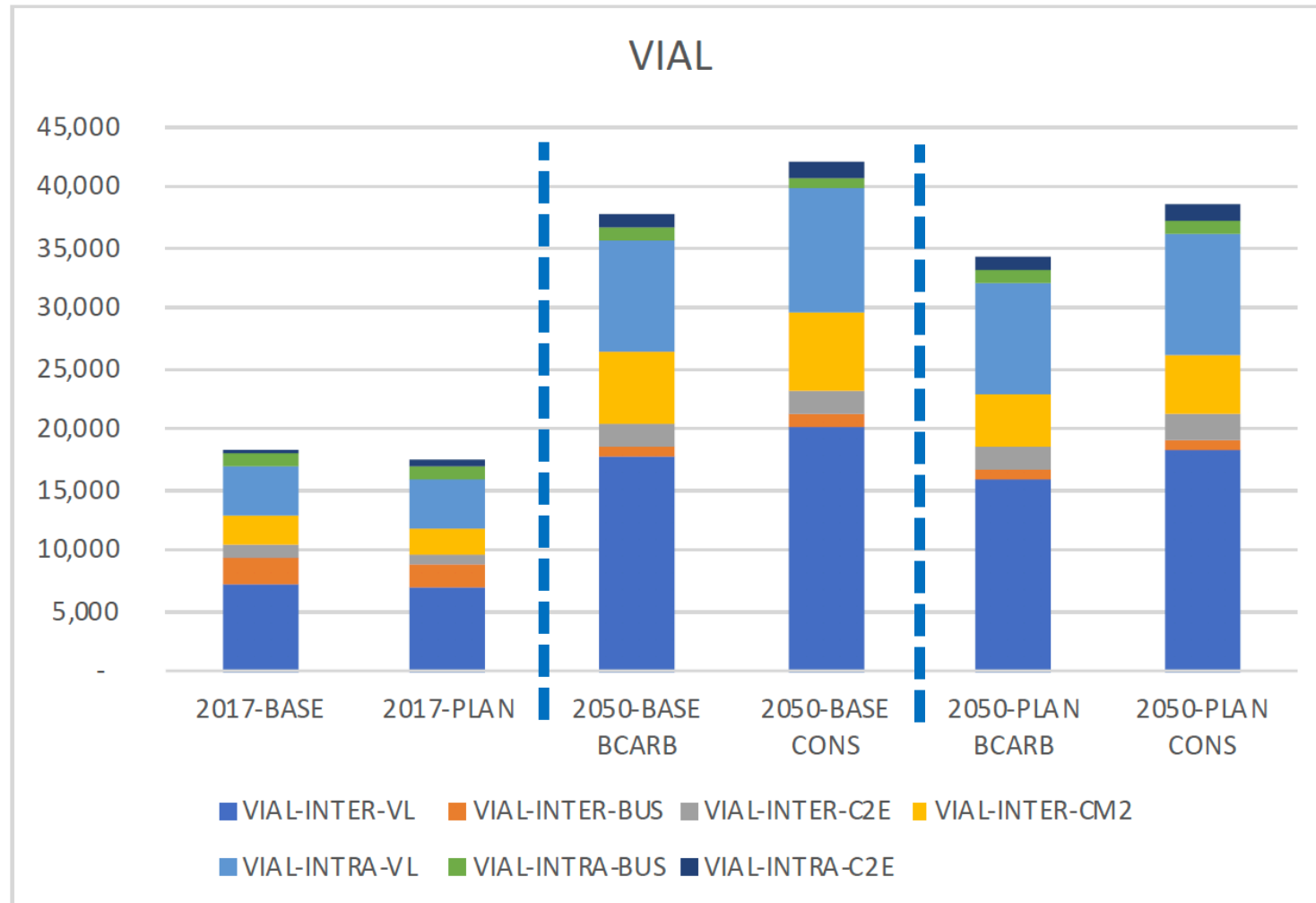
Resultados Movilidad y emisiones 2017-2050



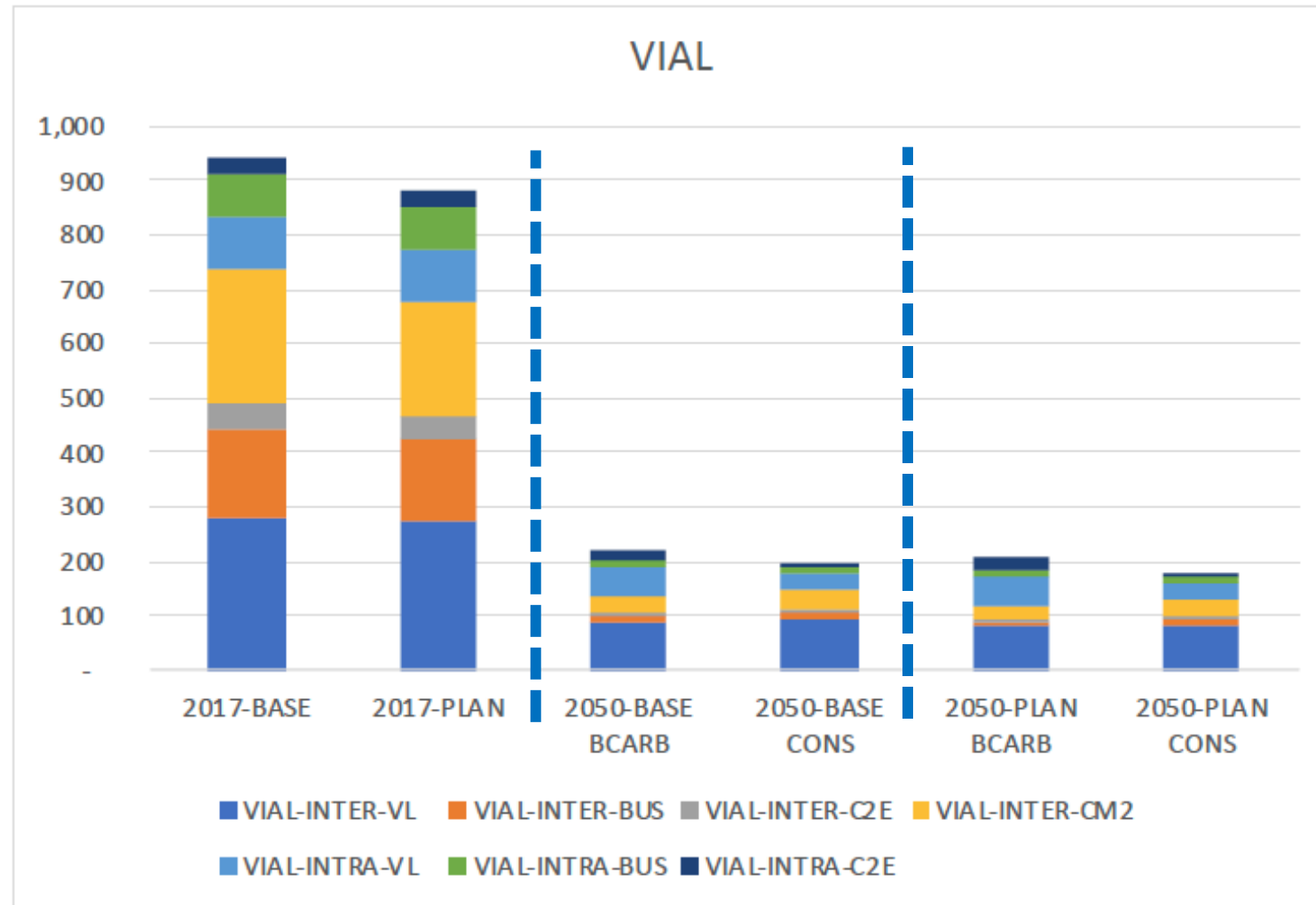
Resultados – Emisiones totales CO₂



Resultados – Emisiones CO₂ transporte vial



Resultados – Emisiones CN transporte vial



Conclusiones – Emisiones anuales CO₂

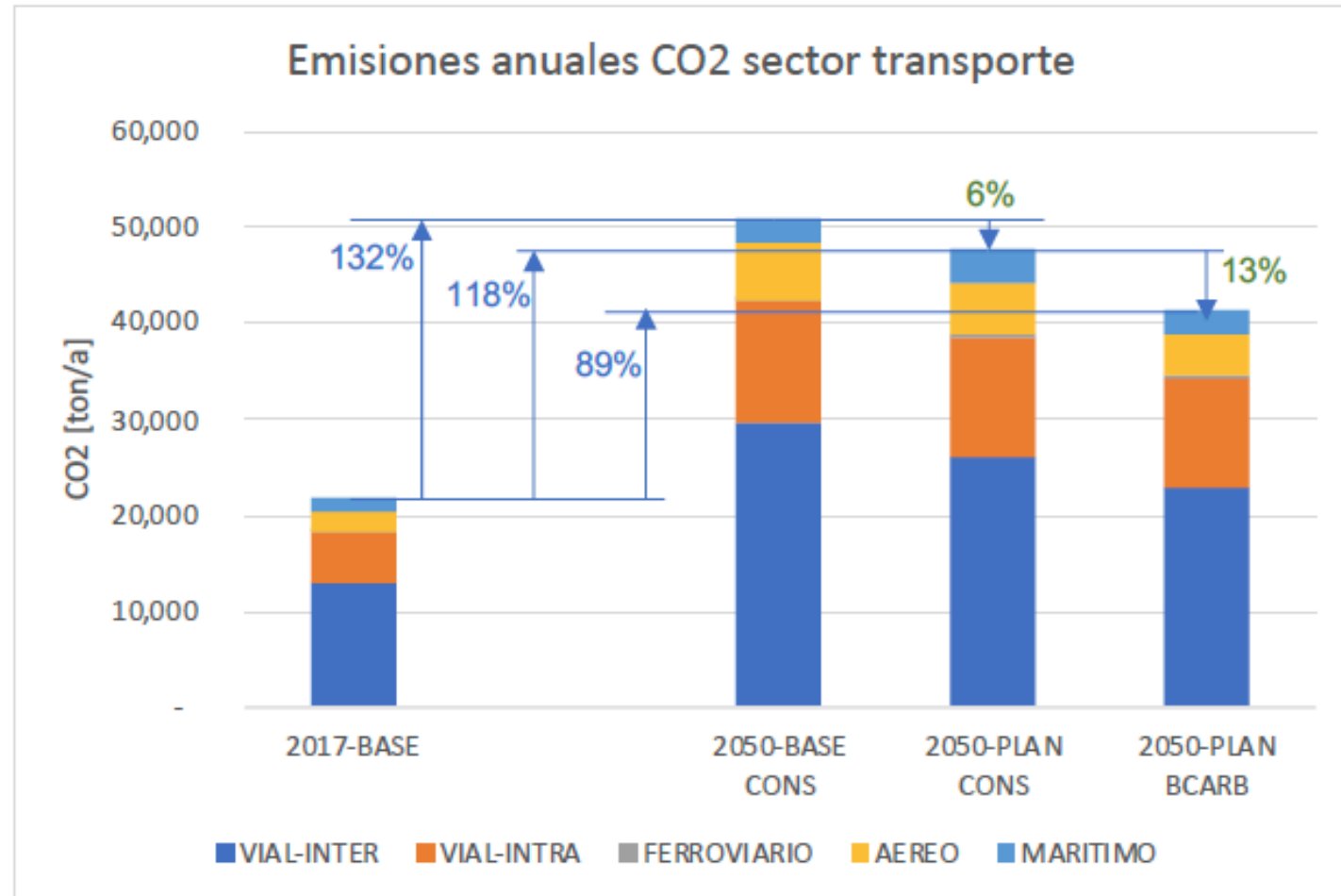


Figura 24: Emisiones anuales CO₂

- Importante efecto de electromovilidad en CO₂ (baterías e hidrógeno verde)
- Generación eléctrica debe ser basada en fuentes renovables
- Interacción inter-ministerial en base a metas transversales

Conclusiones – Emisiones anuales MP_{2,5} y CN

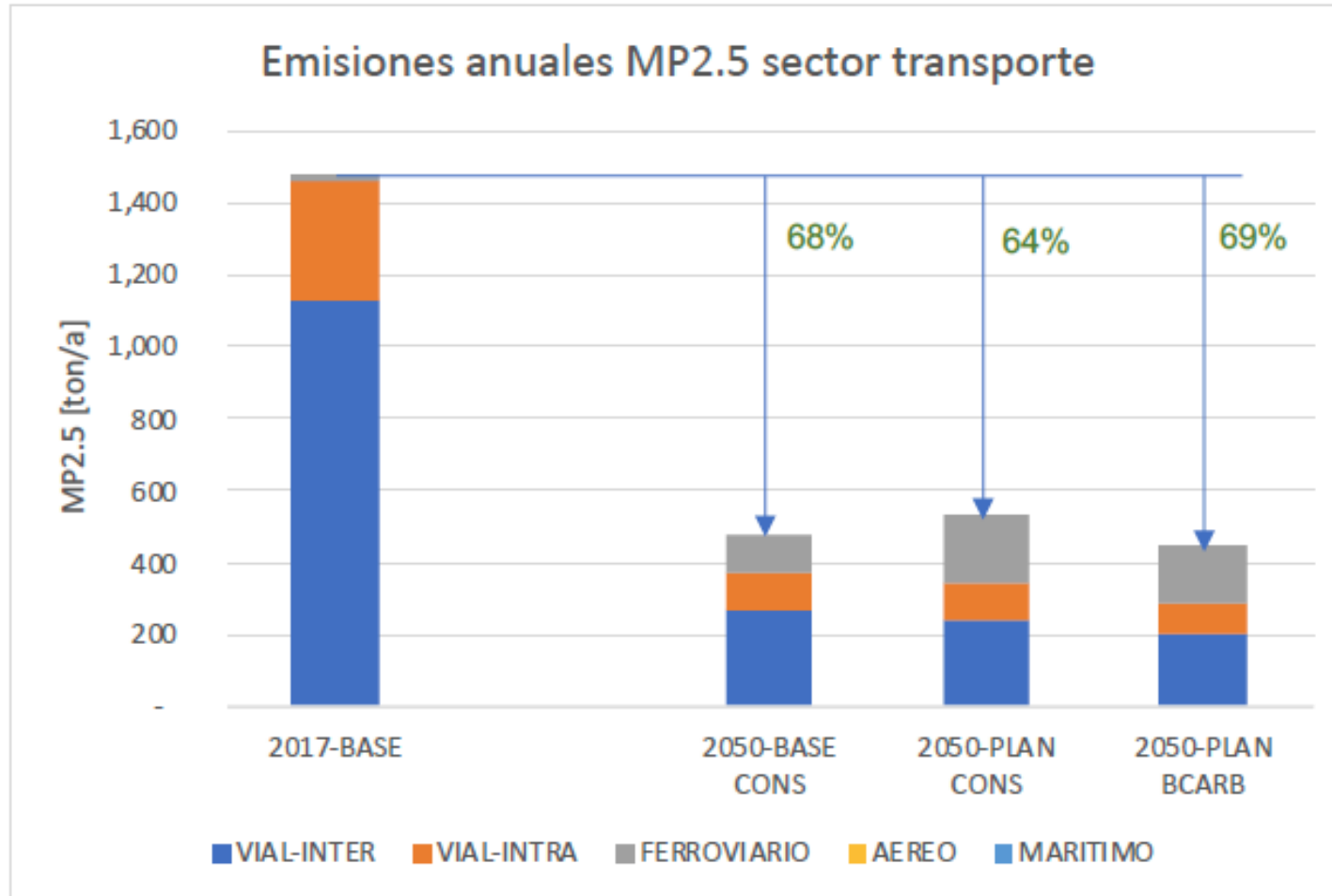


Figura 25: Emisiones anuales MP2.5

- Importante efecto de norma EURO/EPA
- Reducción de CN aporta a metas de carbono neutralidad
- Trenes de carga debiesen ser parte del proceso de electromovilidad

Conclusiones

- Se ha desarrollado **un modelo bottom-up** para proyectar emisiones a **nivel nacional**
- El modelo permite estimar forzantes de **cambio climático** y **contaminantes criterio** de impacto local
- Se consideran escenarios **normativos, tecnológicos** y el efecto de la **velocidad media** de circulación
- **Evaluación integrada** de transporte de pasajeros y carga, interzonal e intrazonal, multimodal (vial, aéreo, marítimo, ferroviario)

Conclusiones

- Contar con estimaciones de emisiones de contaminantes locales y globales permite **evaluar el impacto ambiental** de las medidas del PNIM, con metodologías comparables a nivel nacional e internacional
- El modelo permite realizar **desagregación espacial** de emisiones de acuerdo a la ubicación de arcos y nodos
- Importante vinculación con las iniciativas de carbono neutralidad, generando **sinergia con los ministerios** de medio ambiente, transporte y energía
- Metodología **complementaria** con estimaciones de emisiones para **zonas urbanas** desarrolladas por SECTRA

¡MUCHAS GRACIAS!

El Ministerio de Obras Públicas de Chile y el BID te invitan:

Serie de Conversatorios: Planificación de la Movilidad Sostenible en Chile



Chile
en marcha



Glosario

Los compuestos químicos corresponden a los siguientes elementos:

- CO₂: dióxido de carbono, gas efecto invernadero
- MP2.5: material particulado respirable, contaminante criterio
- NO_x: óxidos de nitrógeno, contaminante criterio
- CO: monóxido de carbono, contaminante criterio
- SO_x: óxidos de azufre, contaminante criterio
- CN: carbono negro, forzante vida corta de cambio climático
- HC: hidrocarburos, contaminante criterio
- CH₄: metano, gas efecto invernadero

Glosario

Las unidades utilizadas tienen la siguiente terminología:

- g/vkm: gramos/vehículo·kilómetro
- g/pkm: gramos/pasajero·kilómetro
- g/tkm: gramos/tonelada·kilómetro
- g/pax: gramos/pasajero
- g/ton: gramos/tonelada

Glosario

Flotas de transporte en cada uno de los modos de análisis:

- Transporte vial interzonal e intrazonal: vehículos livianos (VL), buses (BUS), camiones de dos ejes (C2E), camiones de más de dos ejes (CM2)
- Transporte aéreo: desplazamientos sobre 3000 pies de altura (Climb, Cruise, Descent, CCD); maniobras bajo 3000 pies y en tierra (Landing, Take-Off, LTO); ambos para movilidad de pasajeros
- Transporte marítimo: desplazamientos en océano, maniobras en puerto, ambas para movilidad de carga
- Transporte ferroviario: movilidad de pasajeros, movilidad de carga

Glosario

Medidas por modo

- TV1,2: transporte vial 1, 2
- TM1,2,3: transporte marítimo 1, 2, 3
- TA1,2: transporte aéreo 1, 2
- TF1: transporte ferroviario 1