

ASESORÍA TÉCNICA

Consultoría para la cuantificación de emisiones del Plan Nacional de Infraestructura para la Movilidad 2020-2050 de Chile

Equipo de trabajo:

Mauricio Osses, Adolfo Gaete, Benjamín Gómez, Matías Concha

Presentación Informe 2

Santiago, 7 de enero 2020



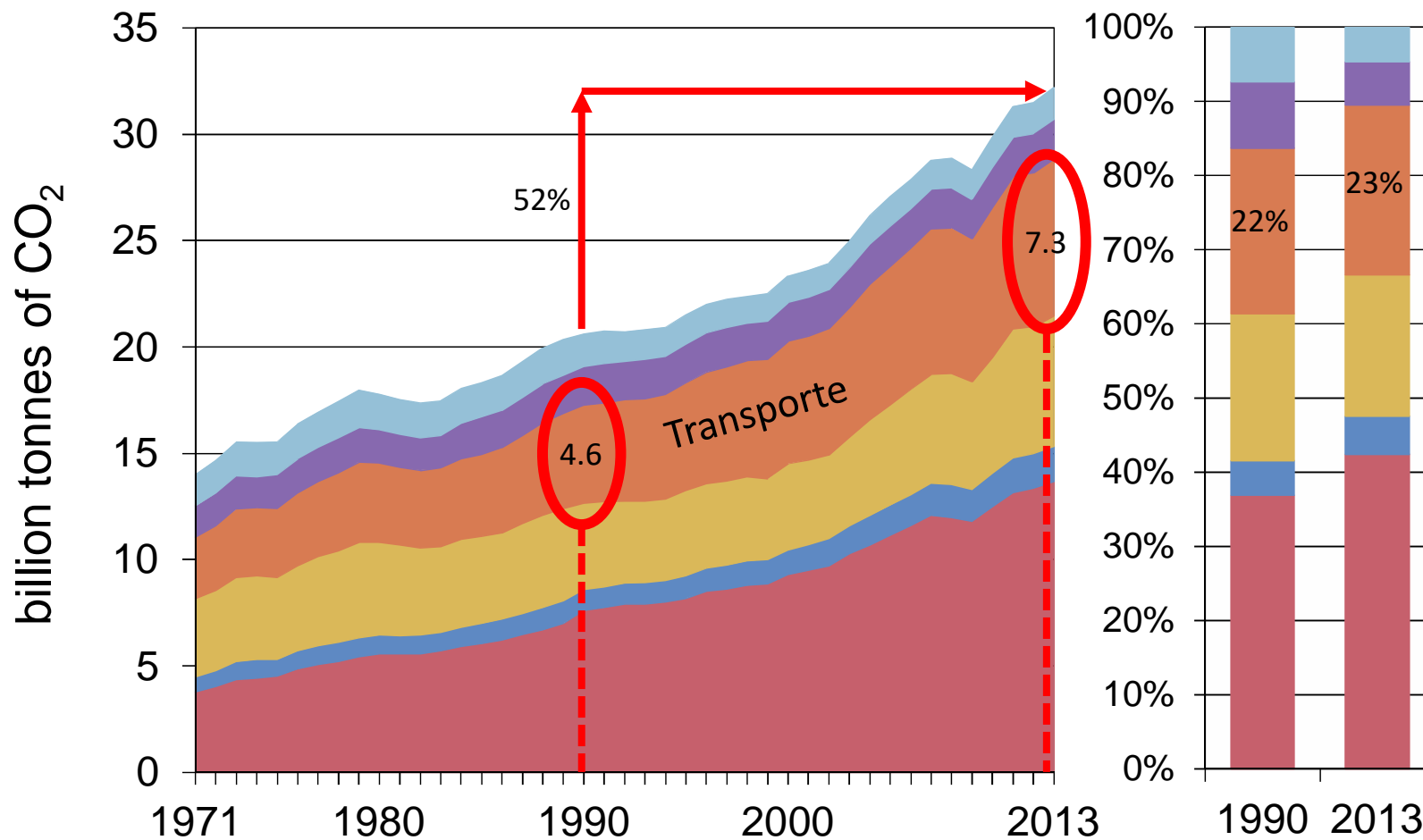
Contenidos

- Contexto mundial
- Objetivos
- Metodología
- Resultados
- Conclusiones



Emisiones de transporte a nivel mundial

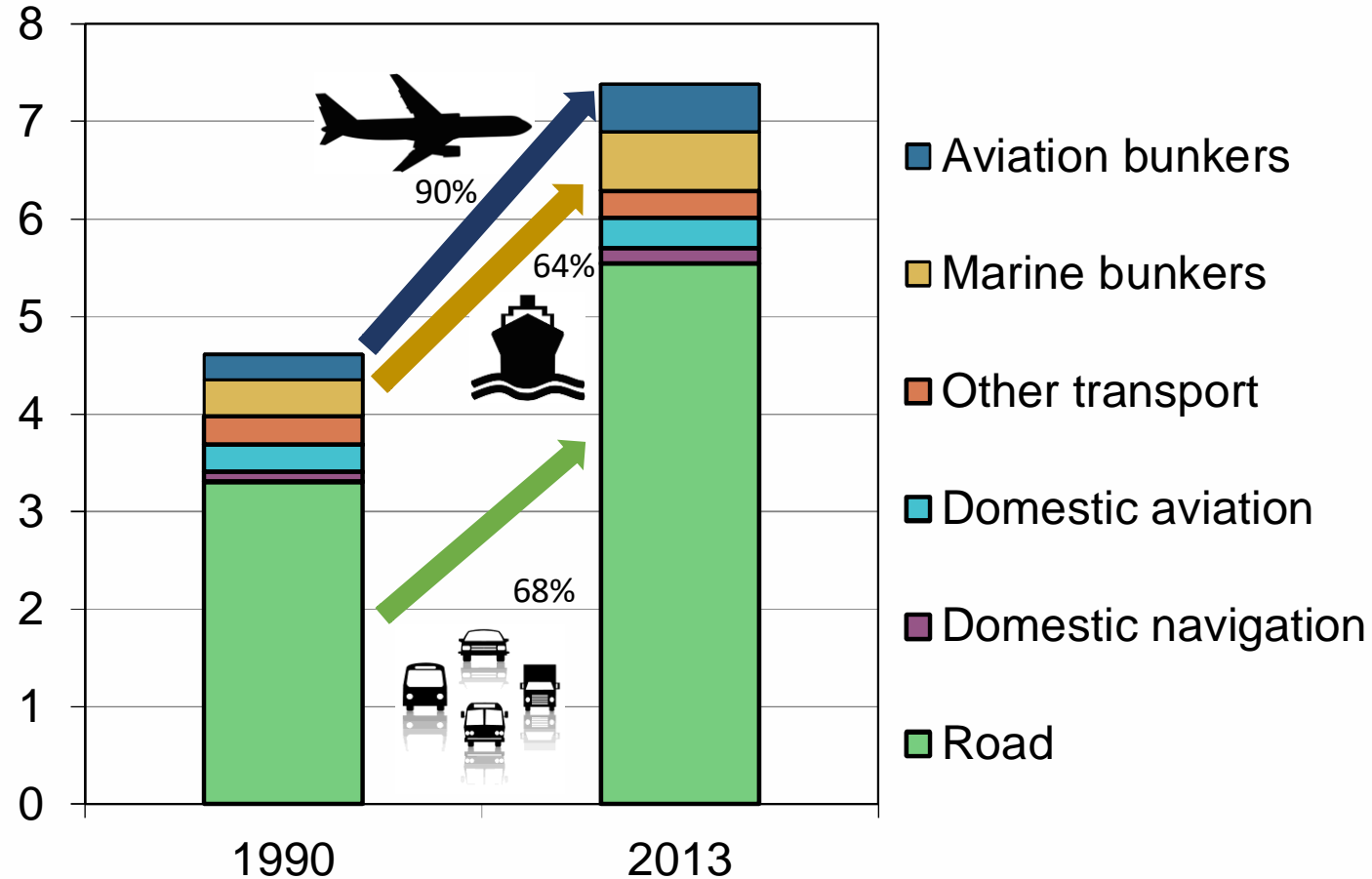
Figure 2. CO₂ emissions by sector



- Electricity and heat
- Manuf. ind. and construction
- Residential
- Other energy ind. own use
- Transport
- Other

Figure 12. CO₂ emissions from transport

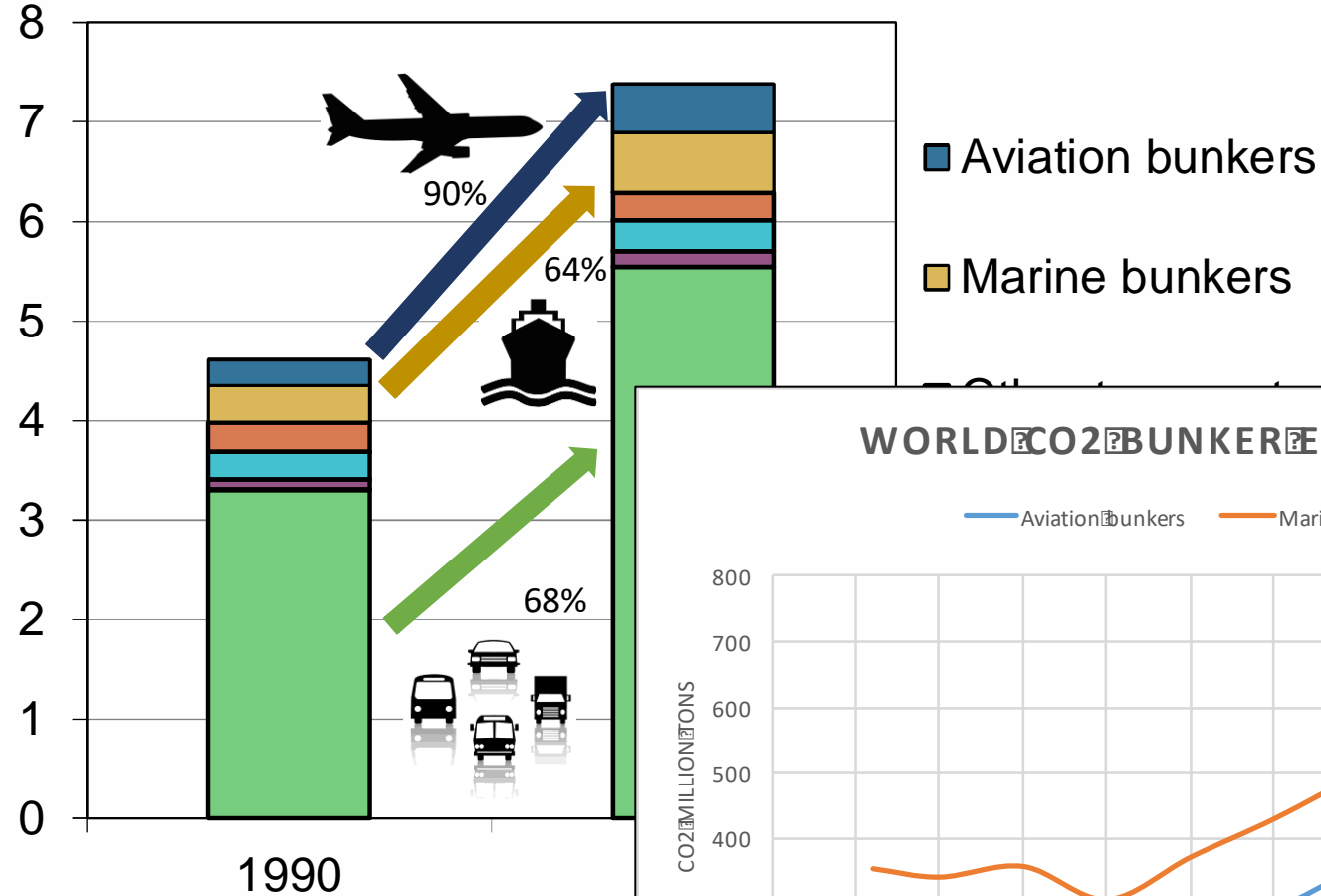
GtCO₂



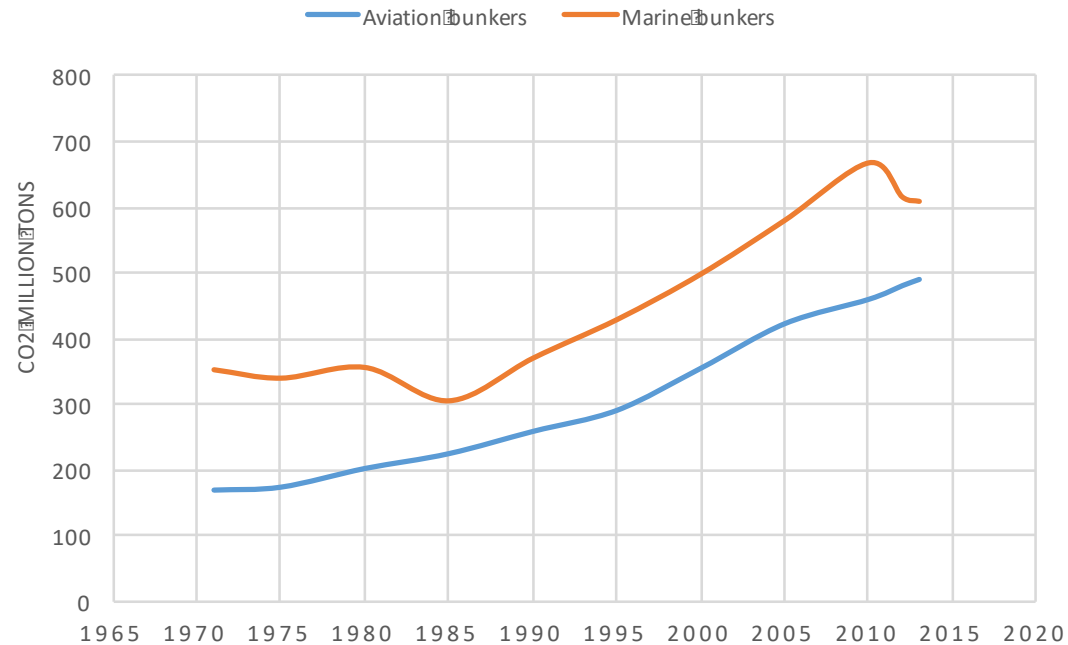
Key point: CO₂ emissions from road are driving the growth of transport emissions.

Figure 12. CO₂ emissions from transport

GtCO₂



WORLD CO₂ BUNKER EMISSIONS



Key point: CO₂ emissions growth of transport emis

Objetivos – cuantificación de emisiones

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.

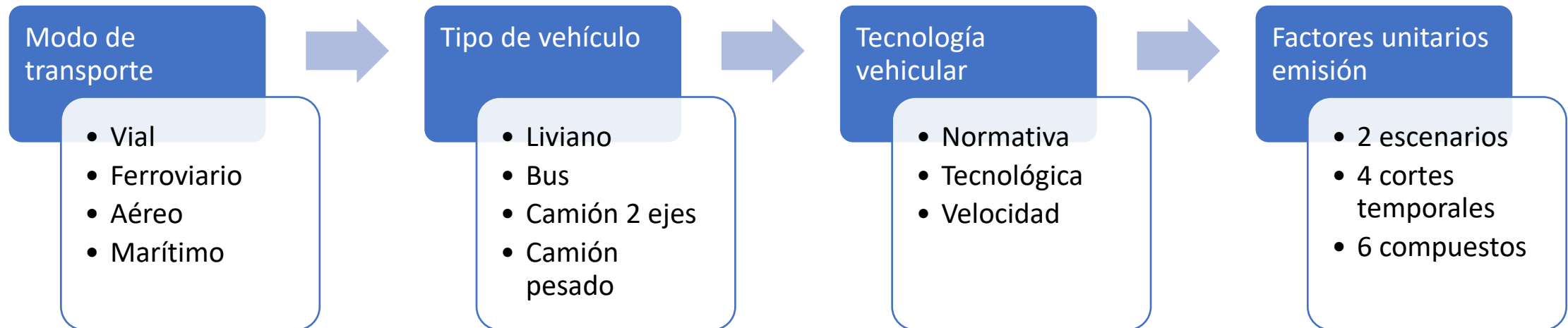
Objetivos específicos

- 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 - general

- Contaminantes
 - CO₂, MP_{2.5}, NO_x, COV, CO, CN
- Escenarios 2020-2050
 - Conservador, Carbono-Neutral
 - Medidas normativas y tecnológicas
 - Efecto velocidad media de circulación
- Modos de transporte
 - Vial, aéreo, marítimo, ferroviario
 - Interzonal, intrazonal
- Modelo de redes de transporte multimodal
 - Alternativas de provisión de infraestructura de movilidad para cargas y personas con énfasis en la conectividad interurbana 2050

Metodología - cálculo de emisiones

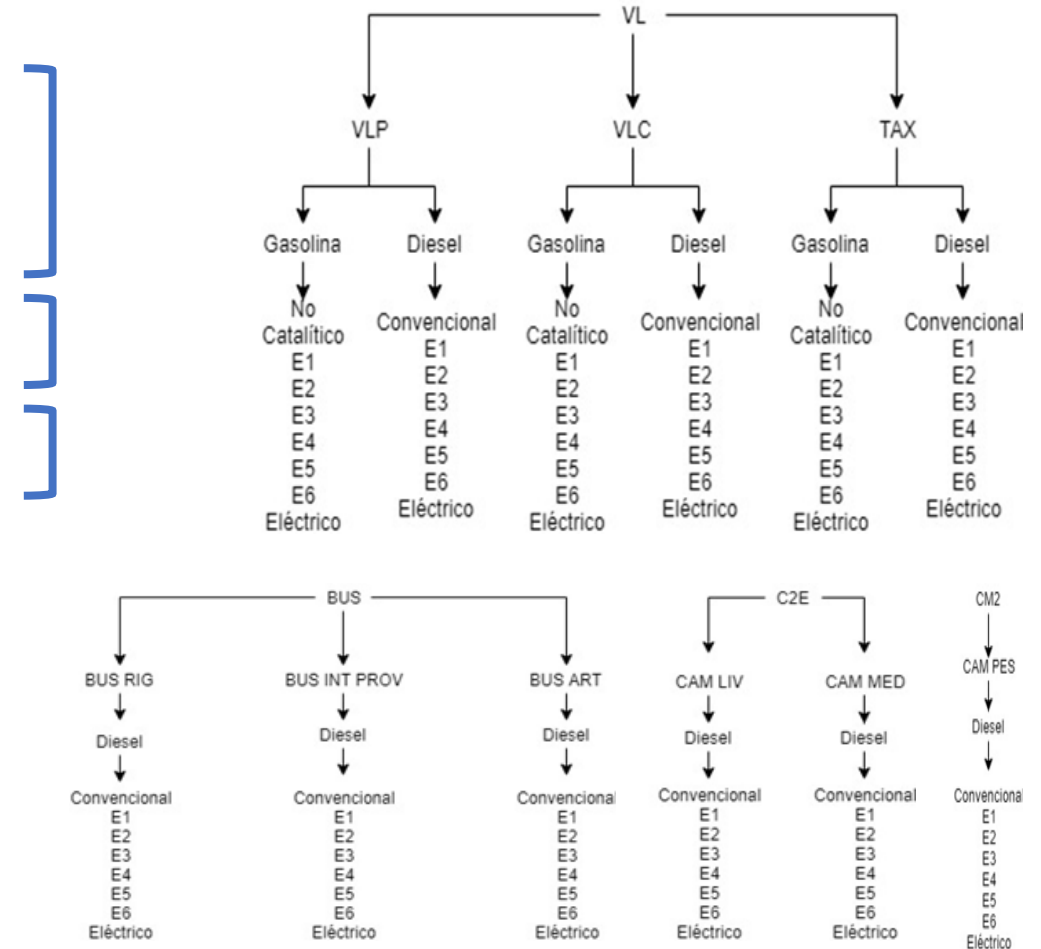




Metodología – transporte vial

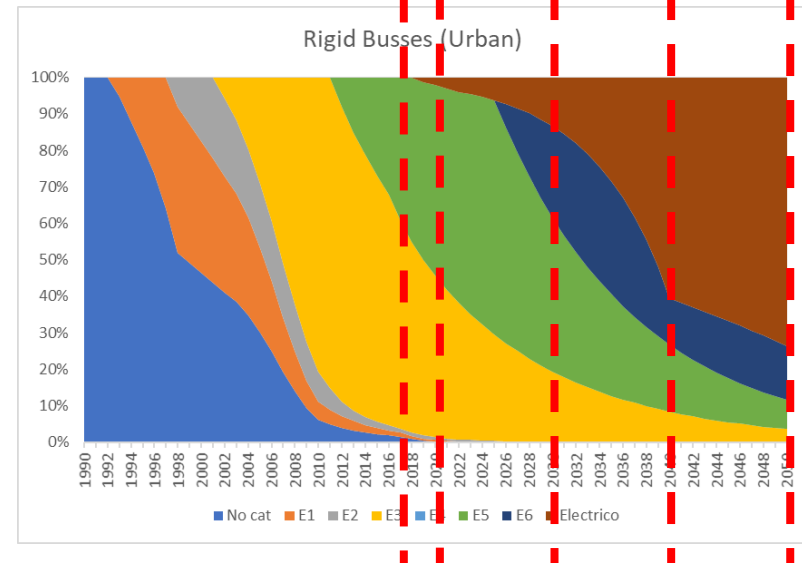
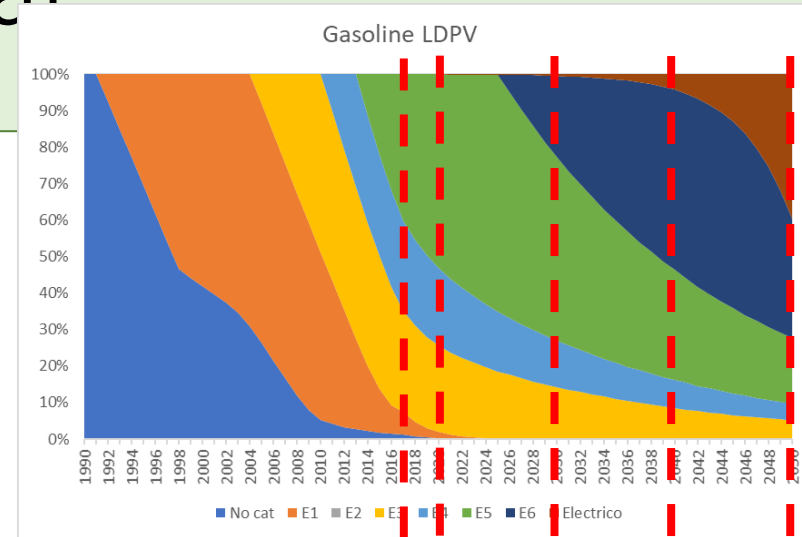
Metodología - transporte vial

R01 2017					
Zona	Categoría Final	Combustible	Categoría inicial	Número de vehículos	Peso ponderado
Intrazonal (Urb)	VL	Diesel	VLP	16748	60%
			VLC	11120	40%
			TAX	0	0%
		Gasolina	VLP	54589	89%
			VLC	2529	4%
			TAX	4072	7%
	BUS	Diesel	RIG	600	100%
			INT PROV	0	0%
			ART	0	0%
	C2E	Diesel	LIV	1709	51%
			MED	1659	49%
	CM2	Diesel	PES	56	100%
Interzonal (Interurb)	VL	Diesel	VLP	5760	60%
			VLC	3824	40%
			TAX	0	0%
		Gasolina	VLP	18774	96%
			VLC	870	4%
			TAX	0	0%
	BUS	Diesel	RIG	0	0%
			INT PROV	700	100%
			ART	0	0%
	C2E	Diesel	LIV	0	0%
			MED	0	0%
	CM2	Diesel	PES	1557	100%



Metodología - transporte vial

R01 2017					
Zona	Categoría Final	Combustible	Categoría inicial	Número de vehículos	Peso ponderado
Intrazonal (Urb)	VL	Diesel	VLP	16748	60%
			VLC	11120	40%
			TAX	0	0%
	Gasolina	VLP	54589	89%	
		VLC	2529	4%	
		TAX	4072	7%	
	BUS	Diesel	RIG	600	100%
			INT PROV	0	0%
			ART	0	0%
	C2E	Diesel	LIV	1709	51%
MED			1659	49%	
CM2	Diesel	PES	56	100%	
Interzonal (Interurb)	VL	Diesel	VLP	5760	60%
			VLC	3824	40%
			TAX	0	0%
	Gasolina	VLP	18774	96%	
		VLC	870	4%	
		TAX	0	0%	
	BUS	Diesel	RIG	0	0%
			INT PROV	700	100%
			ART	0	0%
	C2E	Diesel	LIV	0	0%
MED			0	0%	
CM2	Diesel	PES	1557	100%	



Metodología - transporte vial

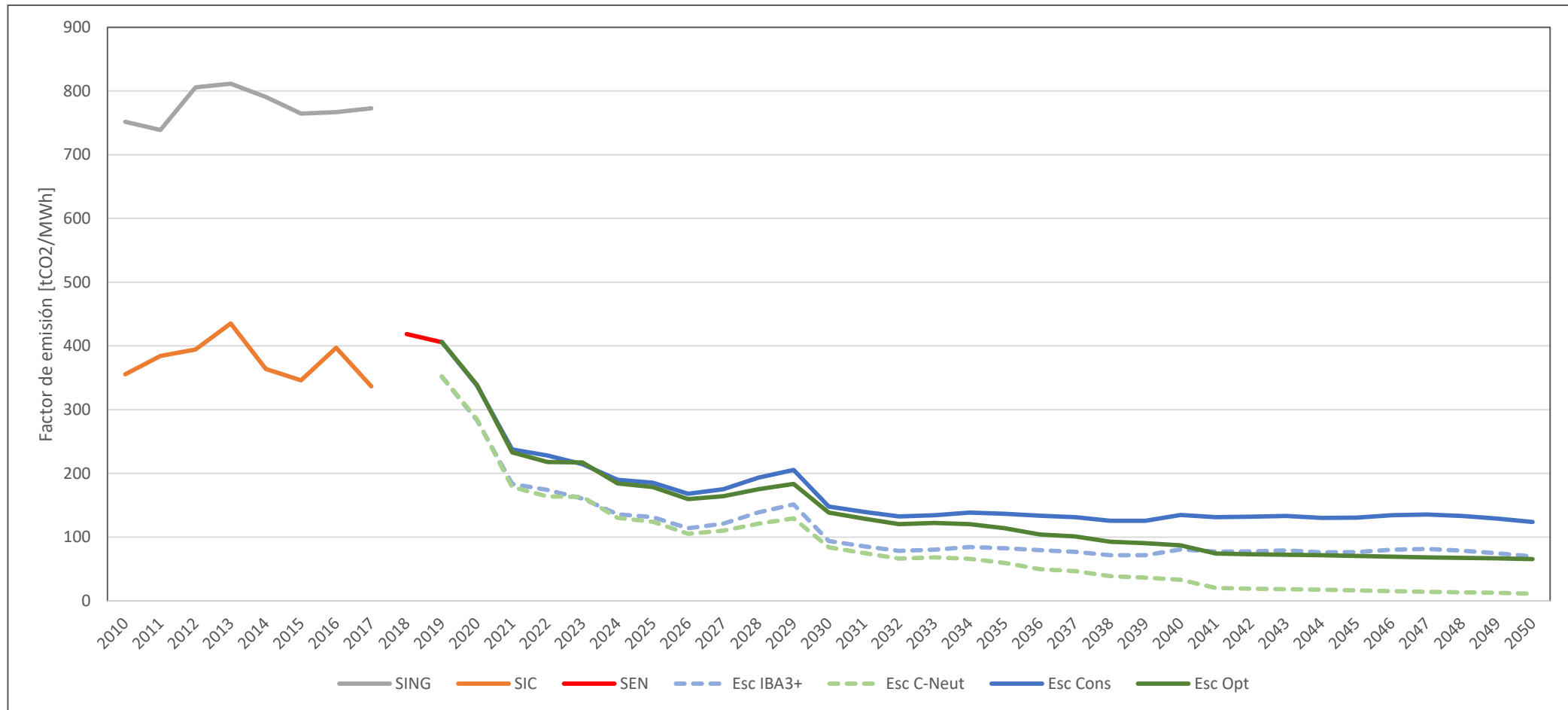
R01 2017					
Zona	Categoría Final	Combustible	Categoría inicial	Número de vehículos	Peso ponderado
Intrazonal (Urb)	VL	Diesel	VLP	16748	60%
			VLC	11120	40%
			TAX	0	0%
		Gasolina	VLP	54589	89%
			VLC	2529	4%
			TAX	4072	7%
	BUS	Diesel	RIG	600	100%
			INT PROV	0	0%
			ART	0	0%
	C2E	Diesel	LIV	1709	51%
			MED	1659	49%
	CM2	Diesel	PES	56	100%
Interzonal (Interurb)	VL	Diesel	VLP	5760	60%
			VLC	3824	40%
			TAX	0	0%
		Gasolina	VLP	18774	96%
			VLC	870	4%
			TAX	0	0%
	BUS	Diesel	RIG	0	0%
			INT PROV	700	100%
			ART	0	0%
	C2E	Diesel	LIV	0	0%
			MED	0	0%
	CM2	Diesel	PES	1557	100%

2017	2020	2030	2040	2050
EF CO2	EF CO2	EF CO2	EF CO2	EF CO2
166	166	165	158	83
245	244	243	232	122
0	0	0	0	0
210	210	209	200	106
350	351	350	351	176
214	214	180	0	0
926	916	793	377	186
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
316	312	310	296	156
556	549	542	517	273
950	931	912	870	459
139	138	138	131	69
228	227	226	216	114
0	0	0	0	0
166	168	168	162	85
218	219	218	208	110
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
612	614	613	586	309
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
673	655	637	606	319

FE g/km
 $f(v_{med})$

CO₂
CO
NO_x
COV
MP_{2.5}
CN-BC

Metodología – emisión generación eléctrica



Escenarios transporte vial

- **Carbono-Neutral:** Implementación norma EURO 6/VI en Chile el 2023 junto con una penetración de electromovilidad designada por un 100% de transporte público eléctrico para el 2040 y un 50% de vehículos privados para el 2050. En adición se considera un 50% de camiones pesados a hidrógeno para el 2050.
- **Conservador:** Implementación norma EURO 6/VI en Chile el 2030 junto con una penetración de electromovilidad designada por un 100% de transporte público eléctrico para el 2040 y un 30% de vehículos privados para el 2050. En adición se considera un 10% de camiones pesados a hidrógeno para el 2050.

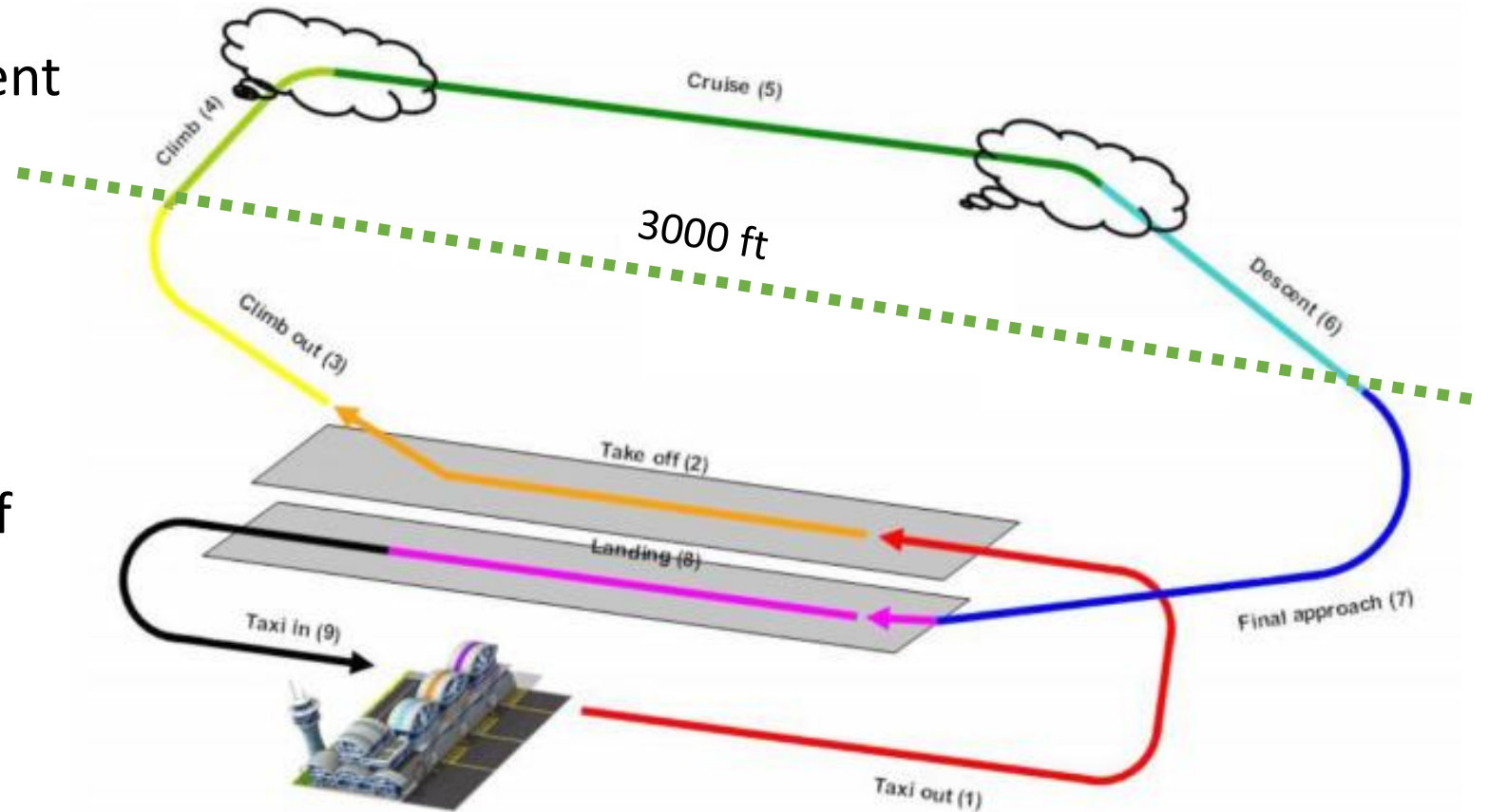


Metodología – transporte aéreo

Metodología – transporte aéreo

Ciclo CCD: Climb, Cruise, Descent

Ciclo LTO: Landing and Take Off



Metodología - flota transporte aéreo

Flota
2020

Airbus A319
150 Pasajeros



Airbus A320
180 Pasajeros



Airbus A321
220 Pasajeros



Incorporaciones
2030-2050

Airbus A319neo
150 Pasajeros



Airbus A320neo
180 Pasajeros

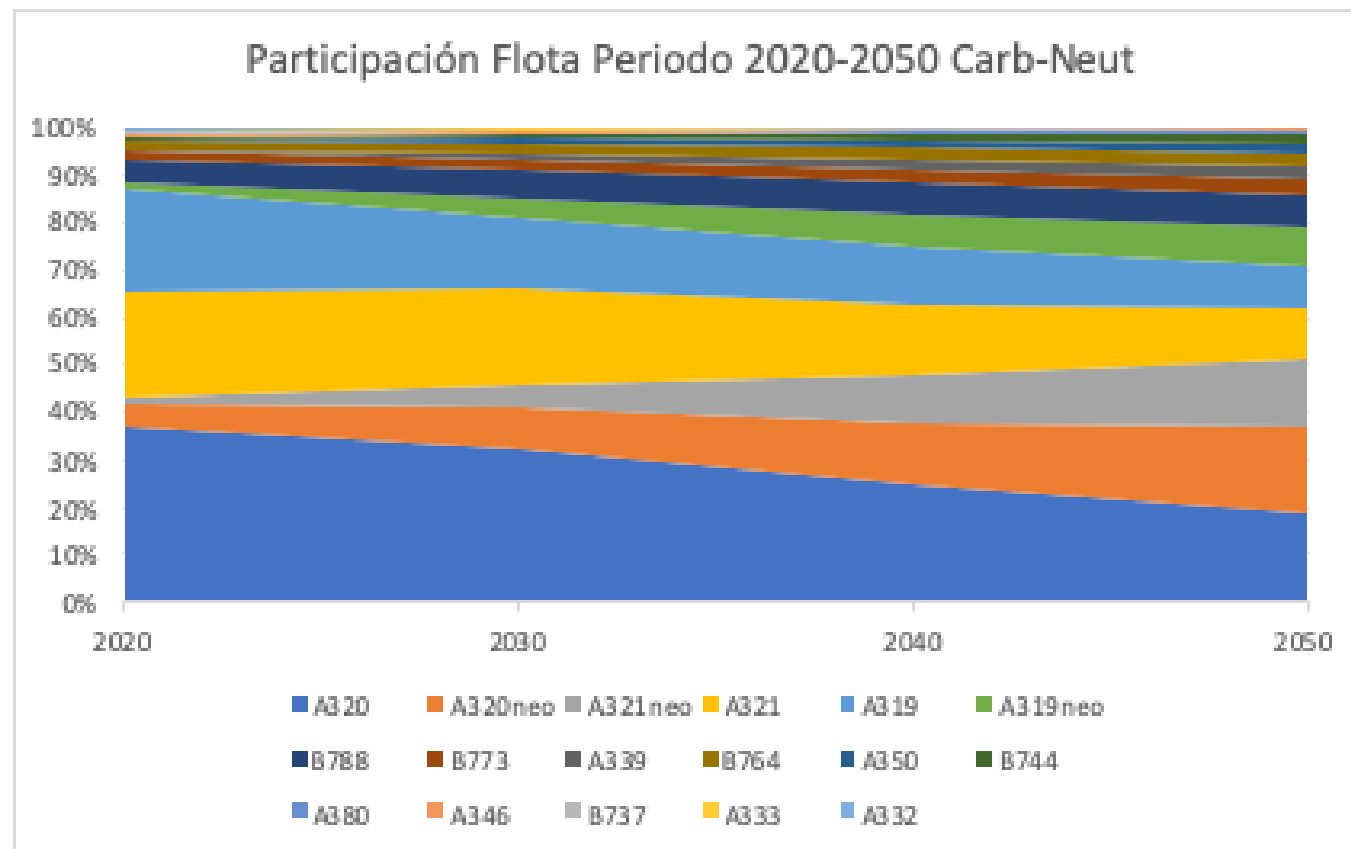


Airbus A321neo
230 Pasajeros



Metodología - flota transporte aéreo

Modelo	2020	2030	2040	2050
A320	37	32	25	19
A320neo	5	9	13	18
A321neo	1	5	10	14
A321	22,3	20,1	15	10,8
A319	22	15	12	9
A319neo	1	4	7	8
B788	5	6	6,5	7,3
B773	2	2,5	2,8	3
A339	0	1	2	3
B764	2	2,3	2,5	2,8
A350	0	1	1,5	2
B744	0,7	1	1,5	1,7
A380	0	0	0,5	1
A346	0,4	0,3	0,3	0,3
B737	1	0,5	0,2	0,1
A333	0,4	0,2	0,1	0
A332	0,2	0,1	0,1	0



Escenarios de la flota aérea presente en Chile para los años 2020-2050

Metodología – tasa de ocupación

Meses	2017	2018	Var. N.	Var. %
Enero	83,4%	82,3%	-1,07%	-1,28%
Febrero	84,1%	83,6%	-0,52%	-0,62%
Marzo	80,4%	79,7%	-0,78%	-0,97%
Abril	81,8%	84,8%	3,00%	3,67%
Mayo	79,8%	81,2%	1,42%	1,78%
Junio	78,3%	79,2%	0,89%	1,14%
Julio	82,6%	84,2%	1,63%	1,98%
Agosto	80,2%	79,0%	-1,16%	-1,45%
Septiembre	80,2%	81,0%	0,82%	1,02%
Octubre	81,0%	81,5%	0,52%	0,64%
Noviembre	80,1%	83,4%	3,25%	4,06%
Diciembre	79,4%	81,4%	2,03%	2,55%
Total	81,0%	81,8%	10,03%	1,01%

Año	Carbono-Neutral	Conservador
2020	0,78	0,70
2030	0,83	0,73
2040	0,88	0,76
2050	0,93	0,79

Factores de ocupación estimados para el periodo 2020-2050

Escenarios transporte aéreo

Escenario Carbono-Neutral

- Recambio acelerado de flota incorporando un mayor número de aviones nuevo a la flota y disminuyendo la participación de aviones mas antiguos. Además, se considera un factor de ocupación creciente con una variación de 15 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 considera una variación de 9 puntos porcentuales en el periodo 2020-2050.



Resultados

Resultados – Factores de emisión T-vial

Contaminante	Ambito	Categoría	2017	2020	2030	2040	2050	Unidades
CO2	Intrazonal	VL	240.51	240.33	239.36	228.99	170.39	g/km.veh
		BUS	1211.13	1171.03	1056.50	752.97	615.93	
		C2E	475.62	470.60	465.33	453.10	360.52	
		CM2	836.66	821.98	806.34	790.50	716.12	
	Interzonal	VL	177.674	178.446	178.800	174.838	131.027	
		BUS	632.562	629.949	624.486	617.639	578.340	
		C2E	373.837	369.123	365.539	371.488	448.345	
		CM2	664.959	652.196	637.578	606.704	319.623	

Contaminante	Ambito	Categoría	2017	2020	2030	2040	2050	Unidades
CO	Intrazonal	VL	0.667	0.370	0.279	0.260	0.136	g/km.veh
		BUS	1.532	1.061	0.449	0.175	0.079	
		C2E	0.570	0.384	0.201	0.136	0.076	
		CM2	1.155	0.732	0.286	0.172	0.081	
	Interzonal	VL	0.769	0.634	0.574	0.537	0.285	
		BUS	0.214	0.155	0.086	0.056	0.032	
		C2E	0.107	0.061	0.027	0.017	0.010	
		CM2	0.190	0.110	0.036	0.019	0.008	

Contaminante	Ambito	Categoría	2017	2020	2030	2040	2050	Unidades
VOC	Intrazonal	VL	0.061	0.031	0.019	0.017	0.009	g/km.veh
		BUS	0.330	0.205	0.078	0.030	0.013	
		C2E	0.167	0.096	0.042	0.026	0.015	
		CM2	0.301	0.178	0.057	0.030	0.013	
	Interzonal	VL	0.040	0.023	0.015	0.013	0.007	
		BUS	0.214	0.157	0.086	0.056	0.032	
		C2E	0.107	0.062	0.027	0.017	0.010	
		CM2	0.190	0.112	0.036	0.019	0.008	

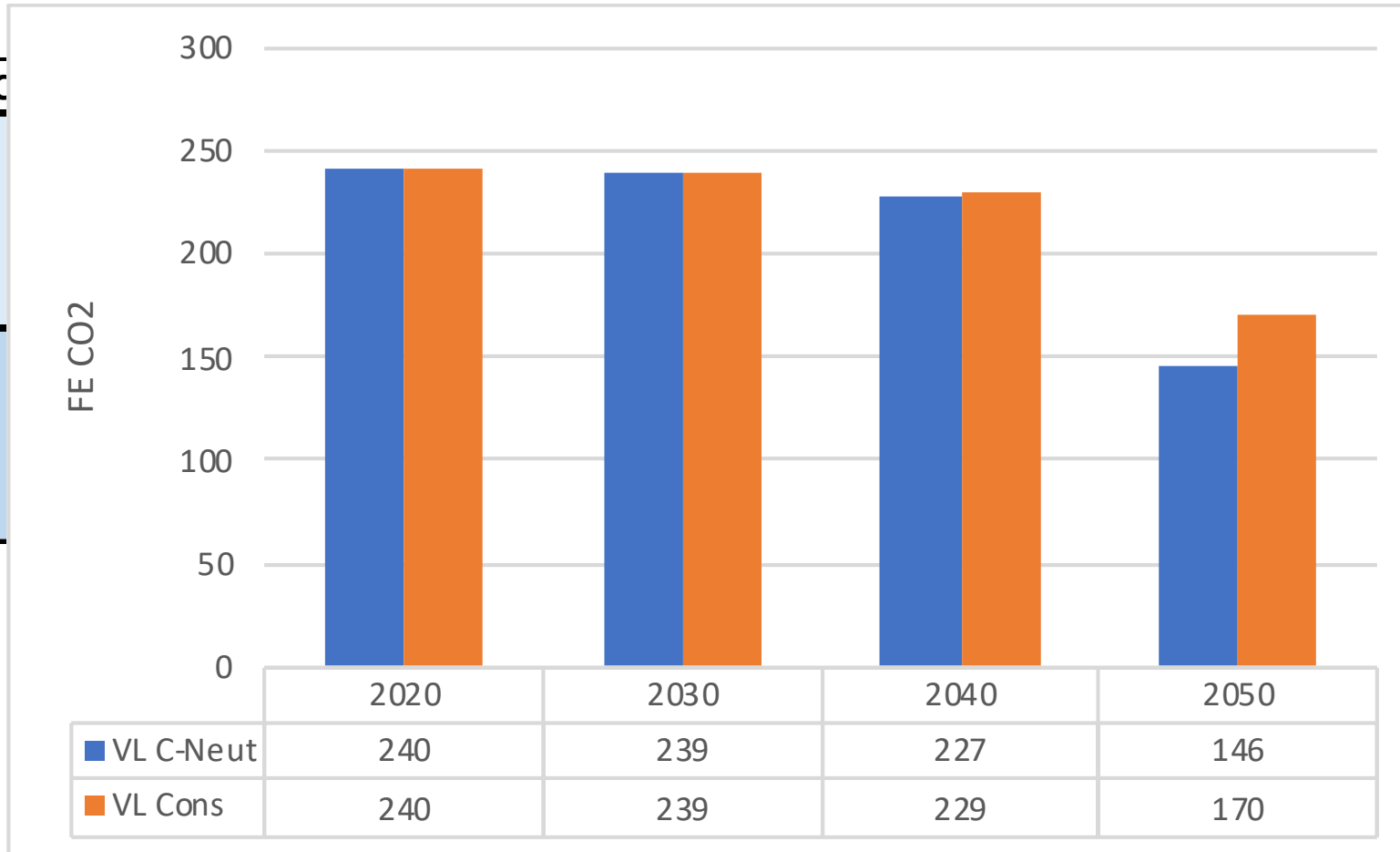
Contaminante	Ambito	Categoría	2017	2020	2030	2040	2050	Unidades
BC	Intrazonal	VL	0.006	0.003	0.001	0.001	0.000	g/km.veh
		BUS	0.079	0.056	0.023	0.009	0.004	
		C2E	0.042	0.026	0.011	0.006	0.003	
		CM2	0.088	0.057	0.017	0.005	0.002	
	Interzonal	VL	0.008	0.005	0.002	0.001	0.001	
		BUS	0.061	0.047	0.025	0.014	0.009	
		C2E	0.033	0.020	0.008	0.004	0.003	
		CM2	0.063	0.041	0.012	0.003	0.001	

Contaminante	Ambito	Categoría	2017	2020	2030	2040	2050	Unidades
PM2.5	Intrazonal	VL	0.009	0.005	0.003	0.002	0.001	g/km.veh
		BUS	0.121	0.082	0.033	0.013	0.006	
		C2E	0.063	0.040	0.019	0.011	0.006	
		CM2	0.134	0.084	0.024	0.008	0.003	
	Interzonal	VL	0.013	0.008	0.004	0.002	0.001	
		BUS	0.091	0.068	0.035	0.021	0.012	
		C2E	0.049	0.031	0.014	0.008	0.004	
		CM2	0.096	0.059	0.017	0.005	0.002	

Contaminante	Ambito	Categoría	2017	2020	2030	2040	2050	Unidades
NOx	Intrazonal	VL	0.299	0.232	0.161	0.124	0.066	g/km.veh
		BUS	6.646	5.103	2.264	0.890	0.394	
		C2E	2.949	2.308	1.644	1.385	0.739	
		CM2	6.534	4.893	1.853	0.876	0.372	
	Interzonal	VL	0.300	0.220	0.145	0.110	0.058	
		BUS	4.794	4.022	2.374	1.537	0.944	
		C2E	2.752	2.141	1.524	1.288	0.687	
		CM2	5.249	3.934	1.496	0.709	0.301	

Resultados – Factores CO2 vial intrazonal

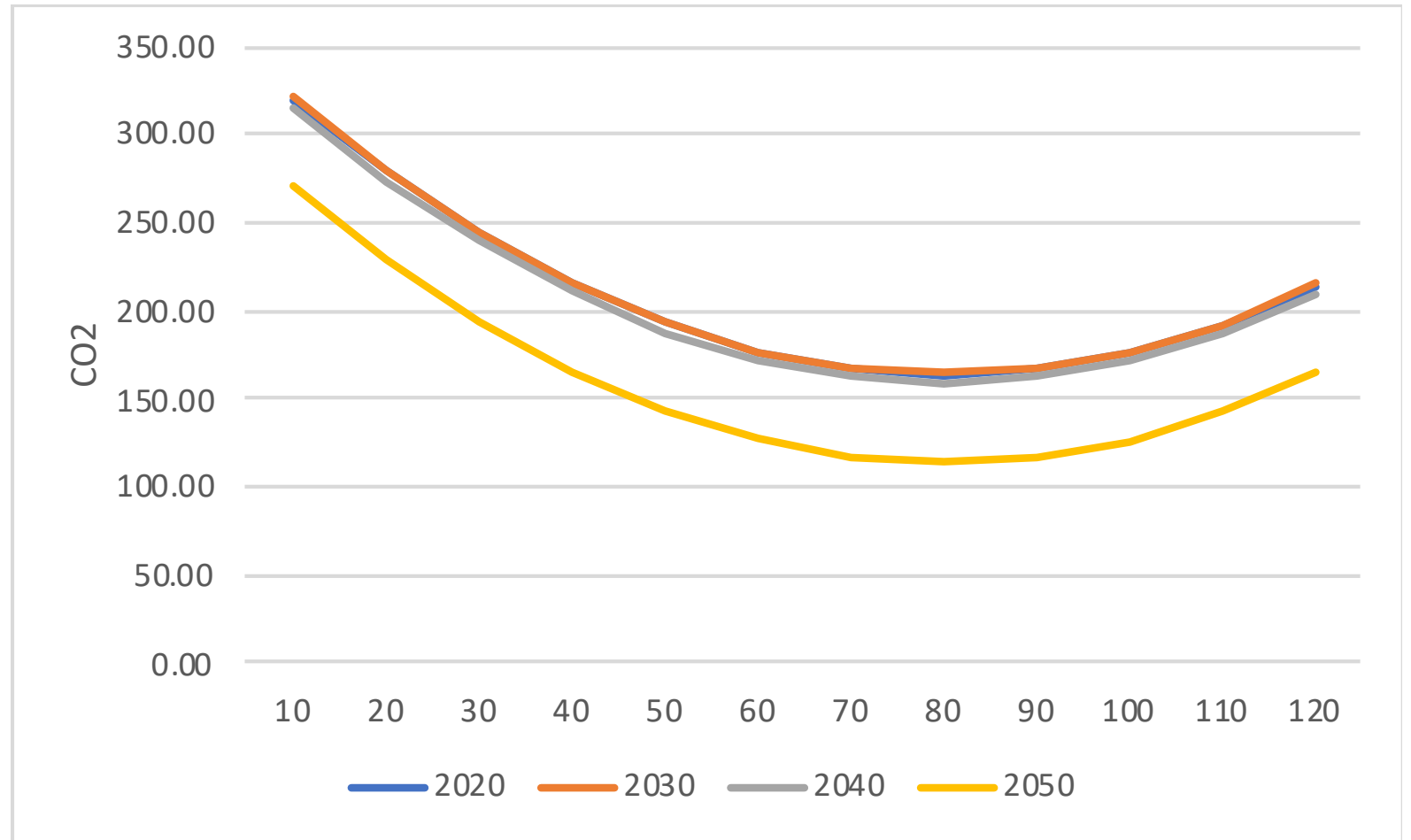
Ambito	C
Intrazonal C-Neutral	
Intrazonal Conservador	



2050	Unidades
146	g/km.veh
600	
289	
694	
170	
616	
361	
716	

Resultados – Factores CO2 vial interzonal

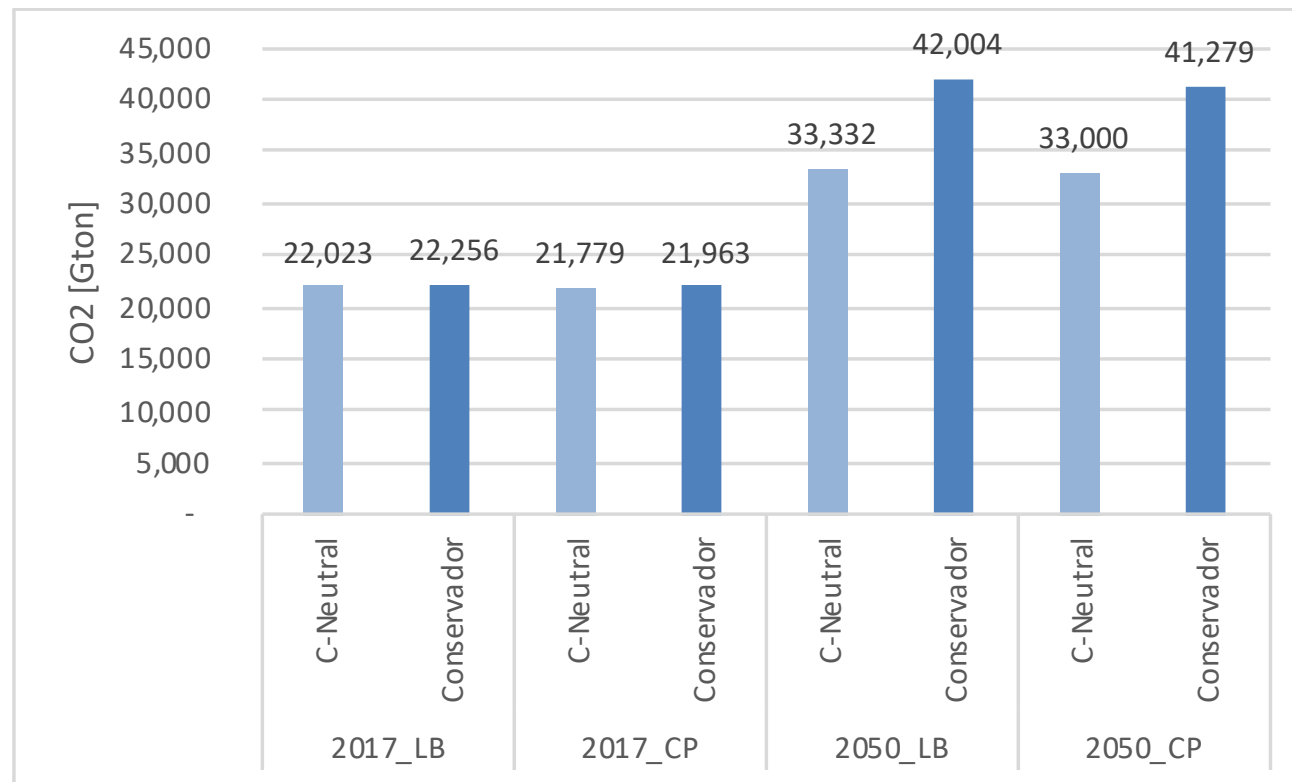
Contaminante	Ambito	Categoria	Velocidad	2020	2030	2040	2050	Unidades	
CO2	Interzonal	VL	10	320.14	320.31	315.38	270.03	g/km.veh	
			20	278.72	278.89	273.97	228.62		
			30	243.67	243.84	238.92	193.57		
			40	214.98	215.15	210.23	164.88		
			50	192.65	192.82	187.89	142.54		
			60	176.68	176.85	171.92	126.57		
			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		
		C2E	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
			C2E	26	470.60	465.33	453.10		360.52
			CM2	26	821.98	806.34	790.50		716.12



Resultados – Emisiones CO2 transporte vial

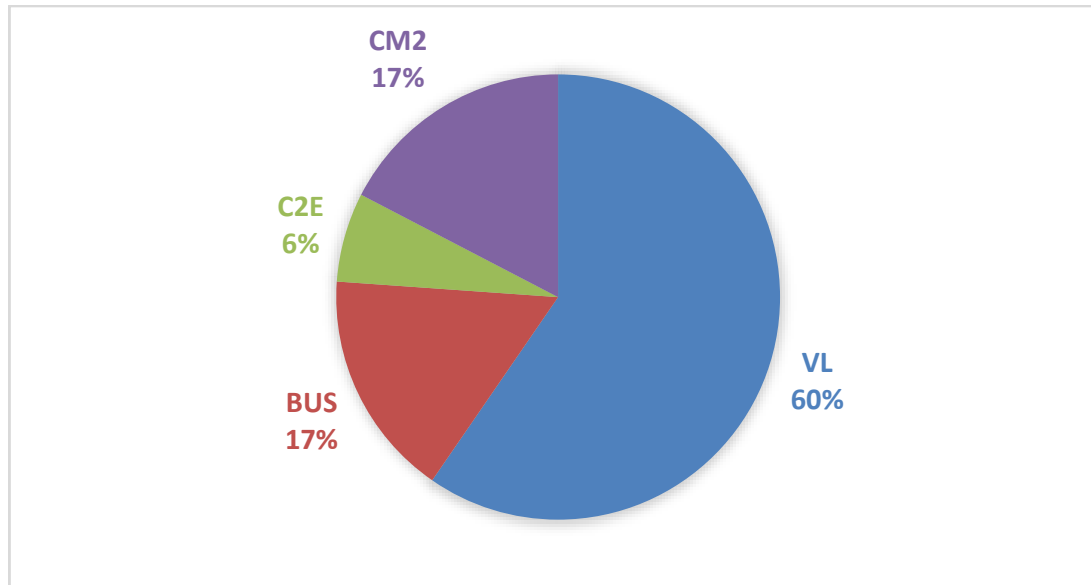
FE CO2											Unidad
Categoría		2017_LB		2017_CP		2050_LB		2050_CP			
		C-Neutral	Conservador	C-Neutral	Conservador	C-Neutral	Conservador	C-Neutral	Conservador		
Vial	Interzonal	VL	6,991	6,991	6,229	6,229	12,296	15,376	13,170	16,498	Tonx103
		BUS	1,988	1,988	1,813	1,813	562	661	594	699	
		C2E	1,228	1,228	1,335	1,335	1,721	2,127	1,751	2,165	
		CM2	3,419	3,419	3,704	3,704	3,703	6,444	3,946	6,854	
	Intrazonal	VL	4,724	4,724	4,724	4,724	8,979	10,457	8,979	10,457	
		BUS	1,256	1,256	1,256	1,256	797	818	797	818	
		C2E	45	45	45	45	102	127	102	127	
		CM2	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ferrocarriles	Carga	6	6	69	69	166	166	166	166		
	Pasajeros	96	96	798	798	811	811	811	811		
Aereo	CCD	1,497	1,668	1,279	1,425	2,719	3,321	1,744	1,744		
	LTO	544	606	337	375	1,066	1,286	530	530		
Maritimo	Oceano	100	100	101	101	197	197	197	197		
	Maniobras + Puerto	128	128	89	89	212	212	212	212		
Total		22,023	22,256	21,779	21,963	33,332	42,004	33,000	41,279		

Resultados – Planes y escenarios

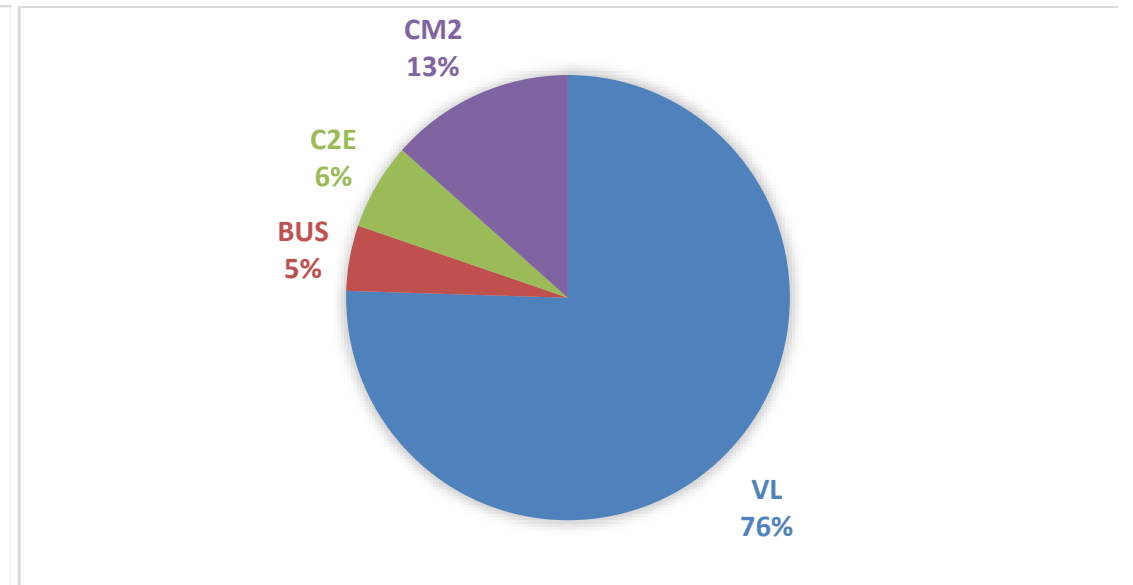


Evolución emisiones CO₂ comparando escenarios

Resultados – Emisiones CO2 transporte vial



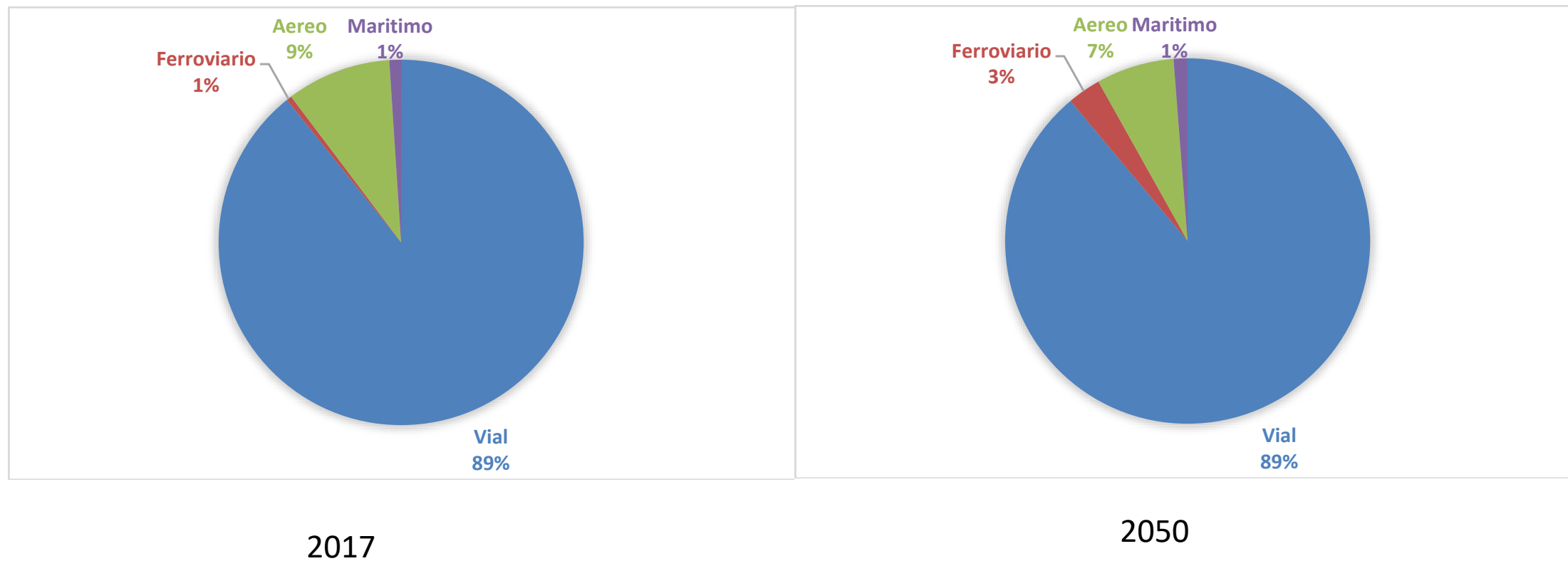
2017



2050

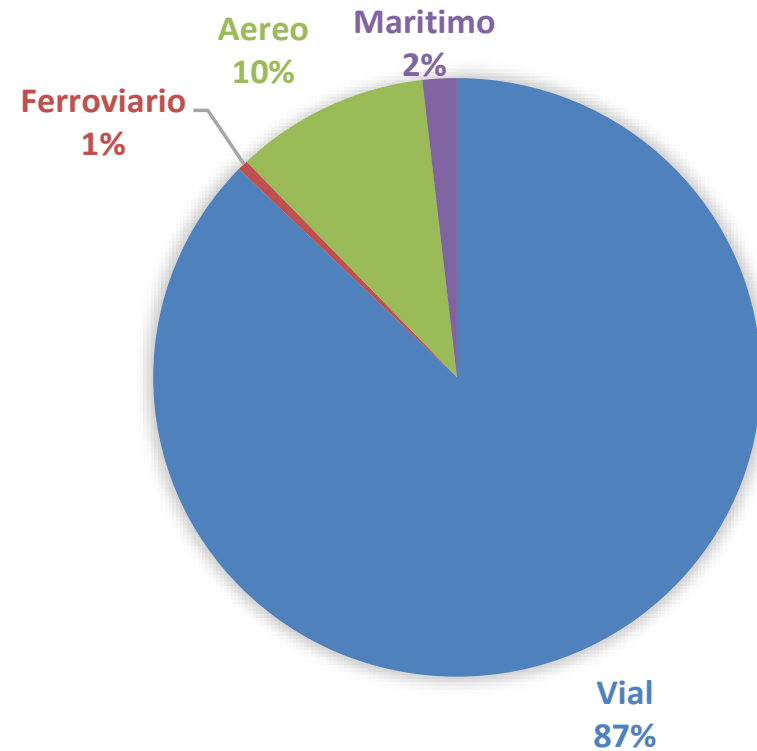
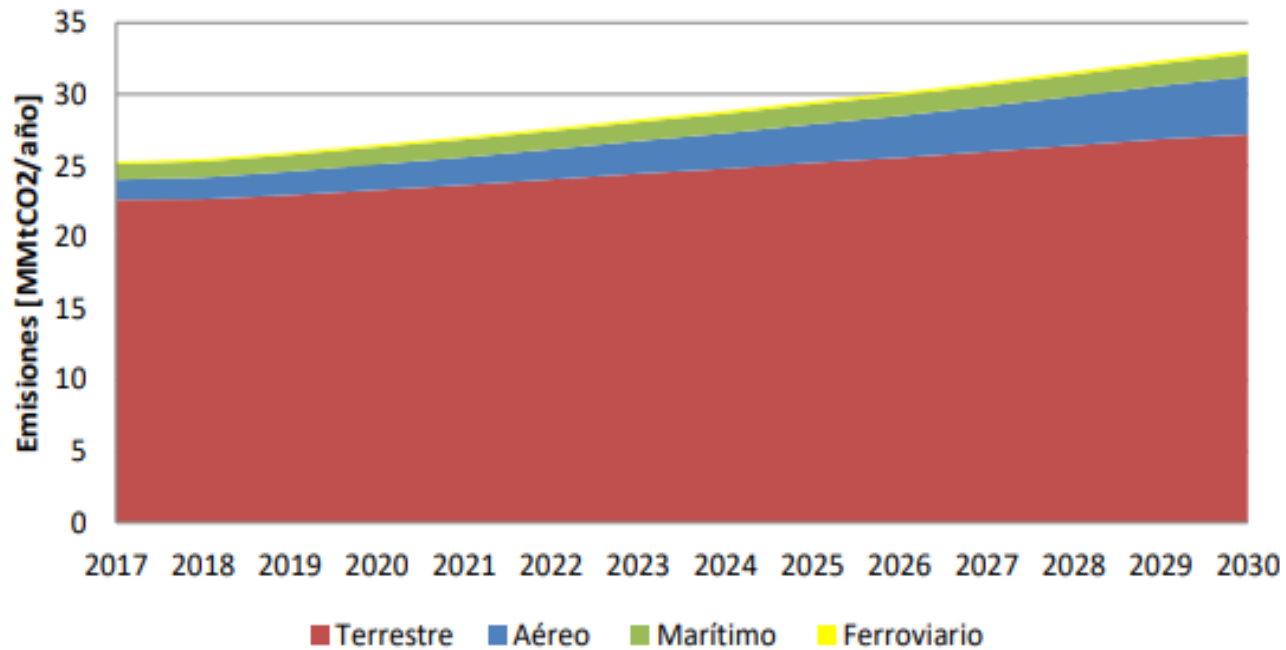
Proporción emisiones de CO₂ año 2017-2050 modos de transporte vial

Resultados – Emisiones CO2 intermodal



Resultados – Emisiones CO2 V-F-A-M

Emisiones sector transporte



Conclusiones

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

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 → input modelos calidad de aire
- Importante relación con las iniciativas NDC de los ministerios de medio ambiente y energía
- Metodología complementaria con estimaciones de emisiones para zonas urbanas desarrolladas por SECTRA (MTT)