

Los impactos del Transantiago en la contaminación de Santiago: una aproximación econométrica

Eugenio Figueroa, Andrés Gomez-Lobo, Pablo Jorquera y Felipe Labrin

Índice

- ▶ **Motivación**
 - ▶ Motivación
 - ▶ Hipótesis
- ▶ **Modelación**
 - ▶ Datos
 - ▶ Modelación
 - ▶ Resultados
- ▶ **Valoración**
 - ▶ Metodología
 - ▶ Ahorro de Costos

Motivación

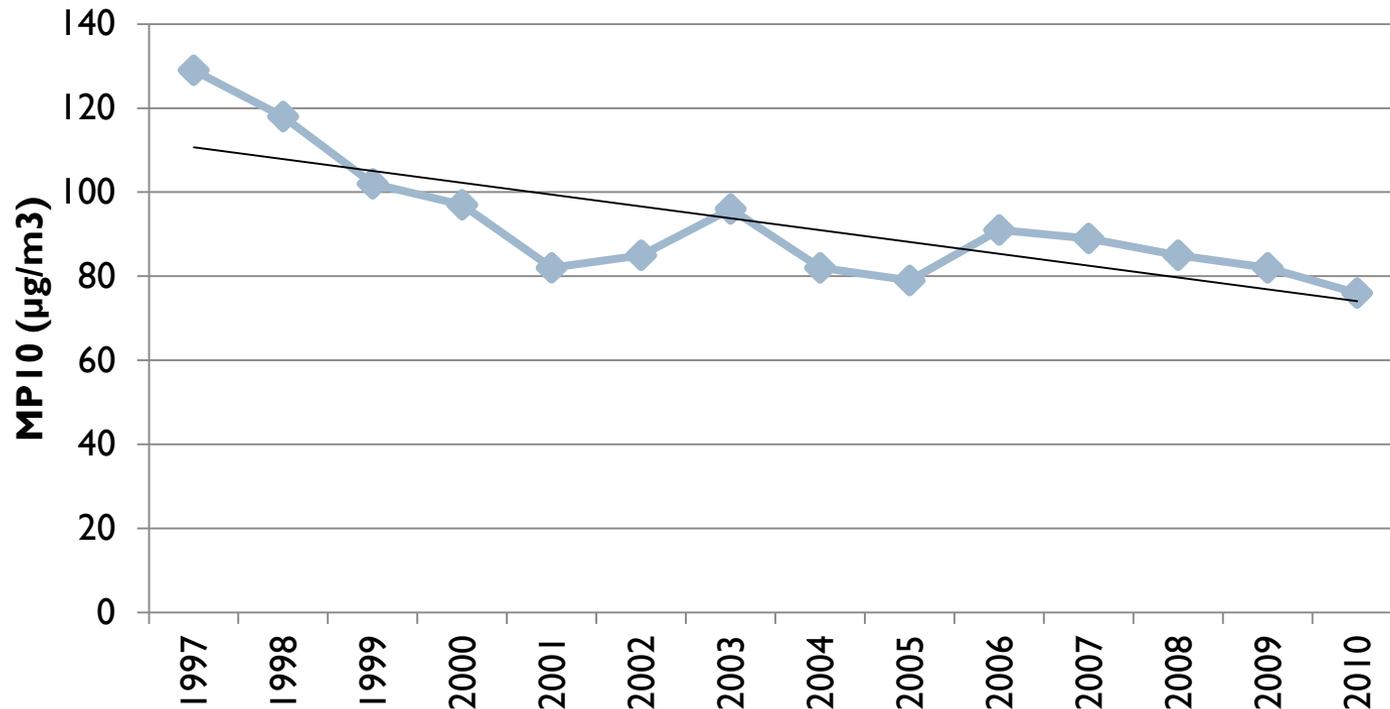
Transantiago

- ▶ Reforma con problemas de diseño e implementación
 - ▶ Duramente cuestionada por la opinión pública
- ▶ Sin embargo, esta reforma ha generado una serie de beneficios en términos de reducción de externalidades:
 - ▶ Contaminación acústica
 - ▶ Accidentes 
 - ▶ Asaltos y robos
- ▶ ¿Qué ha pasado con la contaminación atmosférica?

La Contaminación en la ciudad de Santiago

- ▶ Desde hace décadas, la ciudad de Santiago experimenta un alto grado de contaminación atmosférica

Promedio anual de concentración de MPI0; 1997-2010

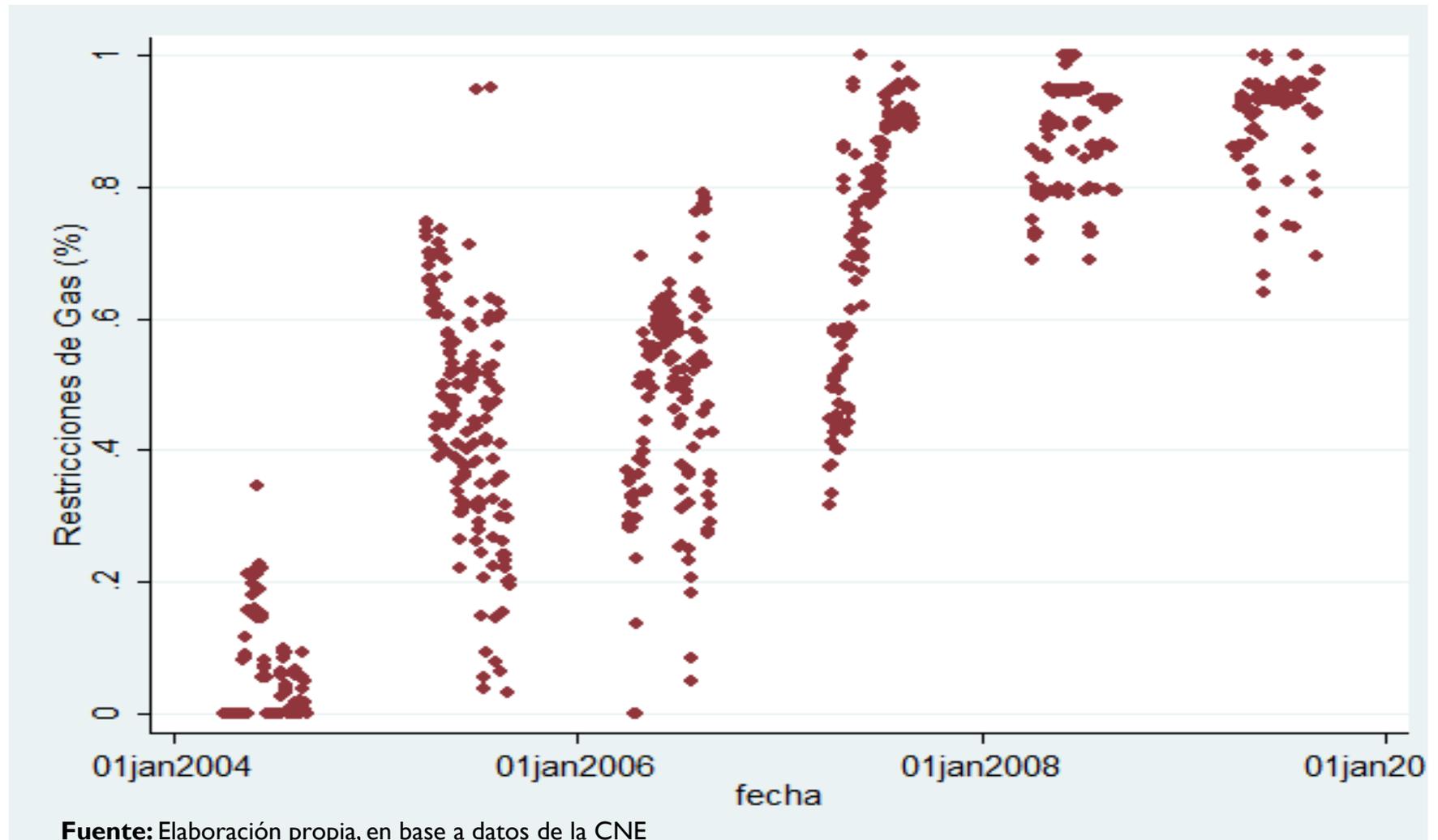


Fuente: Elaboración propia, en base a datos de la Seremi de Salud RM

Hipótesis

- ▶ La implementación del Transantiago pudo haber generado un descenso en la contaminación de la capital
- ▶ Este efecto no se habría observado inmediatamente debido al efecto inverso de las restricciones de gas natural proveniente de Argentina

Restricciones de gas desde Argentina



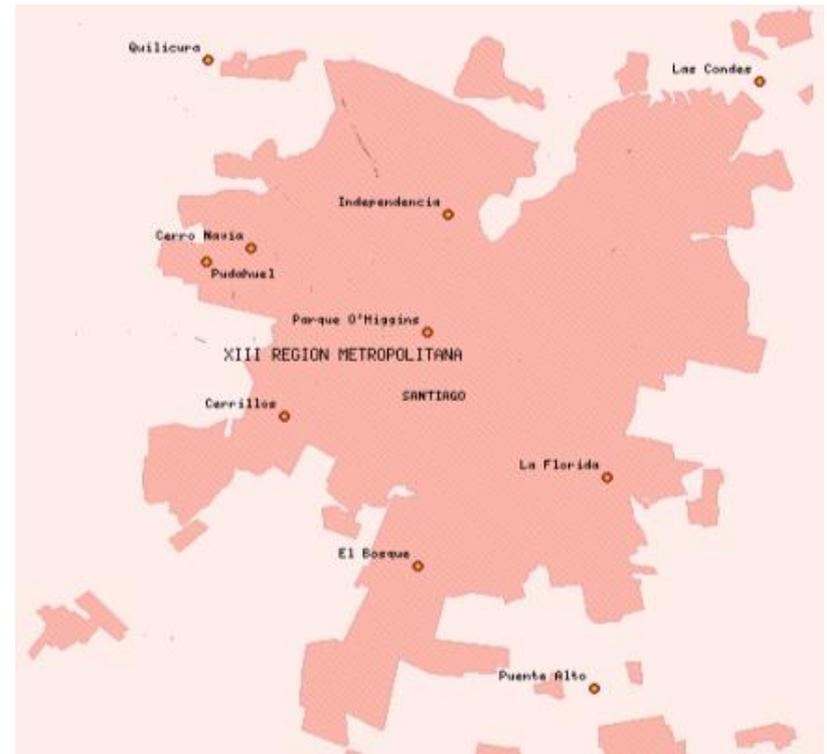
Modelo y Datos

Datos

- ▶ **Contaminación: SEREMI Salud R.M.**
 - ▶ Concentración diaria MPI10
 - ▶ 1997-2010
 - ▶ Abril-Agosto
 - ▶ 7 estaciones de monitoreo de la red MACAM2



Ubicación de estaciones de monitoreo (Red MACAM2)



Fuente: SINIA de CONAMA

Modelación

$$\begin{aligned} \text{MPIO}_{i,t} = & \alpha + \bar{\beta}_1 \text{LPIO} + \beta_2 \text{Misumi}_t + \beta_3 \text{Musumi}^2 \\ & + \beta_4 \text{Imacec}_t + \beta_5 \text{Lluvias}_t + \beta_6 \text{Gas}_t + \bar{\beta}_7 \text{Días}_t \\ & + \bar{\beta}_8 \text{Episodiocrítico}_{t-1} + \beta_9 \text{Tendencia} + \bar{\beta}_{10} \text{Estación}_i \\ & + \beta_{11} \text{Azufre}_t + \gamma \text{D07} + v_{i,t} \end{aligned}$$

Donde el subíndice i se refiere a la estación i y el subíndice t se refiere al día t .

Con $\bar{\beta}_1$, $\bar{\beta}_7$, $\bar{\beta}_8$ y $\bar{\beta}_{10}$ vectores para los rezagos, el día de la semana (agrupando domingos y feriados), episodios críticos y la estación de monitoreo.

$\text{Episodiocrítico}_{t-1}$ corresponde a una variable discreta que toma los valores 1, 2 y 3 si es que en el día previo se dio un episodio de alerta, preemergencia o emergencia respectivamente.

Lluvias_t es una variable discreta para la ocurrencia de precipitaciones en el día, para modelaciones alternativas se utilizó un rezago de la variable .

Resultados

VARIABLES	Modelo	1 rezago	2 rezagos	3 rezagos
1 rezago MPI0		0.33** (0.008)	0.36** (0.009)	0.36** (0.010)
2 rezagos MPI0			-0.06** (0.009)	-0.08** (0.010)
3 rezagos MPI0				0.04** (0.008)
Misumi	6.47** (0.119)	5.21** (0.115)	5.16** (0.115)	5.22** (0.115)
Misumi^2	-0.10** (0.004)	-0.08** (0.004)	-0.08** (0.004)	-0.09** (0.004)
IMACEC	1.60** (0.067)	1.05** (0.063)	1.08** (0.063)	1.07** (0.064)
Gas	8.28** (1.680)	11.54** (1.687)	11.21** (1.713)	11.15** (1.731)
Lluvias	-10.91** (0.685)	-10.31** (0.640)	-10.26** (0.642)	-10.24** (0.642)
Tendencia	-0.03** 6.47**	-0.02** (0.001)	-0.02** (0.001)	-0.02** (0.001)

Resultados

VARIABLES	Modelo	1 rezago	2 rezagos	3 rezagos
Alerta	6.12** (0.836)	-2.62** (0.837)	-0.99 (0.871)	-1.43 (0.878)
Preemergencia		-4.63** (1.527)	-2.07 (1.577)	-3.24* (1.570)
Azufre	0.00** (0.000)	0.00 (0.000)	0.00 (0.000)	0.00 (0.000)
D07	-3.38** (1.137)	-2.61** (1.052)	-2.95** (1.062)	-3.06** (1.072)
Constante	295.92** (11.551)	234.38** (11.387)	242.02** (11.421)	235.88** (11.508)
Observations	13,421	13,247	13,148	13,049
R-squared	0.59	0.65	0.65	0.66
Adj. R-squared	0.59	0.65	0.65	0.65
Ftest	814.26	943.14	904.25	870.99

Fuente: Elaboración propia. *Nota:* Errores estándar entre paréntesis. ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

No se presentan los coeficientes para Estación_t ni Día_t.

Resultaron no significativos los coeficientes rezagos de Lluvias_{t-1}, ni de emergencia ambiental.

Robustez de los resultados

- ▶ 1.- Testeo de una tendencia no lineal
- ▶ 2.- Demostración de un quiebre de la tendencia (2005-2006)

VARIABLES	(1) Modelo tendencia cuadrática	(2) Modelo datos hasta 2006
tiempo	-0.03* (0.012)	-0.02** (0.001)
tiempo2	0.00 (0.000)	-
d07	-3.52** (1.292)	-
d05	-	1.51 (1.618)
Observations	13,049	9,936
R-squared	0.66	0.66
Adj. R-squared	0.65	0.66
Ftest	840.09	680.79

Fuente: Elaboración propia. *Nota:* Errores estándar entre paréntesis. ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

Valoración

Metodología

- ▶ **Calculo del Efecto Medioambiental del programa**
 - ▶ Disminución de MPIO en $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- ▶ **Cálculo de los Efectos en Salud**
 - ▶ Funciones de concentración-respuesta lineales
 - ▶ Para admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, visitas a salas de urgencia por enfermedades respiratorias, días de actividad restringida, enfermedades respiratorias bajas en niños, bronquitis crónica, síntomas respiratorios agudos y ataques de asma
 - ▶ Población afectada: Provincia de Santiago más las comunas de Puente Alto y San Bernardo
- ▶ **Valoración de los Efectos en Salud**

Valoración de los Efectos en Salud

- ▶ Basado en Holz (2000)
- ▶ Mortalidad
- ▶ Morbilidad:
 - ▶ Costos directos de atención de salud
 - ▶ Costos Indirectos por pérdida de días o horas trabajadas
- ▶ Actualización
 - ▶ IPC de Salud
 - ▶ Índice de Remuneraciones Generales

Ahorro año promedio Transantiago (\$ 2010)

	Escenario Alto	Escenario Medio	Escenario Bajo
Mortalidad	12.934.341.191	3.849.506.307	3.325.973.449
Morbilidad			
Admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias	29.492.196	25.188.132	22.006.867
Admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares	314.198.127	254.540.255	190.905.191
Visitas a sala de urgencia por enfermedades respiratorias	6.744.682	5.760.370	5.032.834
Días de actividad restringida	4.862.061.261	3.737.503.053	2.539.467.307
Enfermedades respiratorias bajas en niños (bronquitis y tos)	112.459.123	77.315.647	49.200.866
Bronquitis crónica	108.848.809.133	71.395.455.453	35.112.519.075
Síntomas respiratorios agudos	28.883.308.320	18.674.097.709	8.506.386.561
Ataques de asma	21.666.246.822	6.419.628.688	3.616.537.394
Total	177.657.660.856	104.438.995.614	53.368.029.545

Fuente: Elaboración propia.



Limites en el Calculo de Costos

- ▶ Costos Directos para el Sistema Público de Salud
- ▶ Enfermedades crónicas producto de contaminación pero sin funciones de concentración-respuesta.
- ▶ Admisiones Hospitalarias están disponibles sólo para el Sistema Público de Salud

Consideraciones

- ▶ **Subvaloración del costo de Mortalidad**
 - ▶ Utilizando valores de Cifuentes et. al (2011) para la valoración de la vida estadística los ahorros totales por muertes evitadas son de \$ 91.038.740.000 (en escenario bajo).

	<u>Cifuentes et. al.</u> <u>(escenario bajo)</u>	Holz (2000) y actualizaciones
Mortalidad promedio	\$ 22.759.685.000	\$ 3.849.506.307
Mortalidad 2007 – 2010	\$ 91.038.740.000	\$ 15.398.025.228
Total Promedio	\$ 123.482.253.718	\$ 104.438.995.614
Total 2007 - 2010	\$ 493.929.014.874	\$ 417.755.982.455
Fuente: Elaboración propia.		

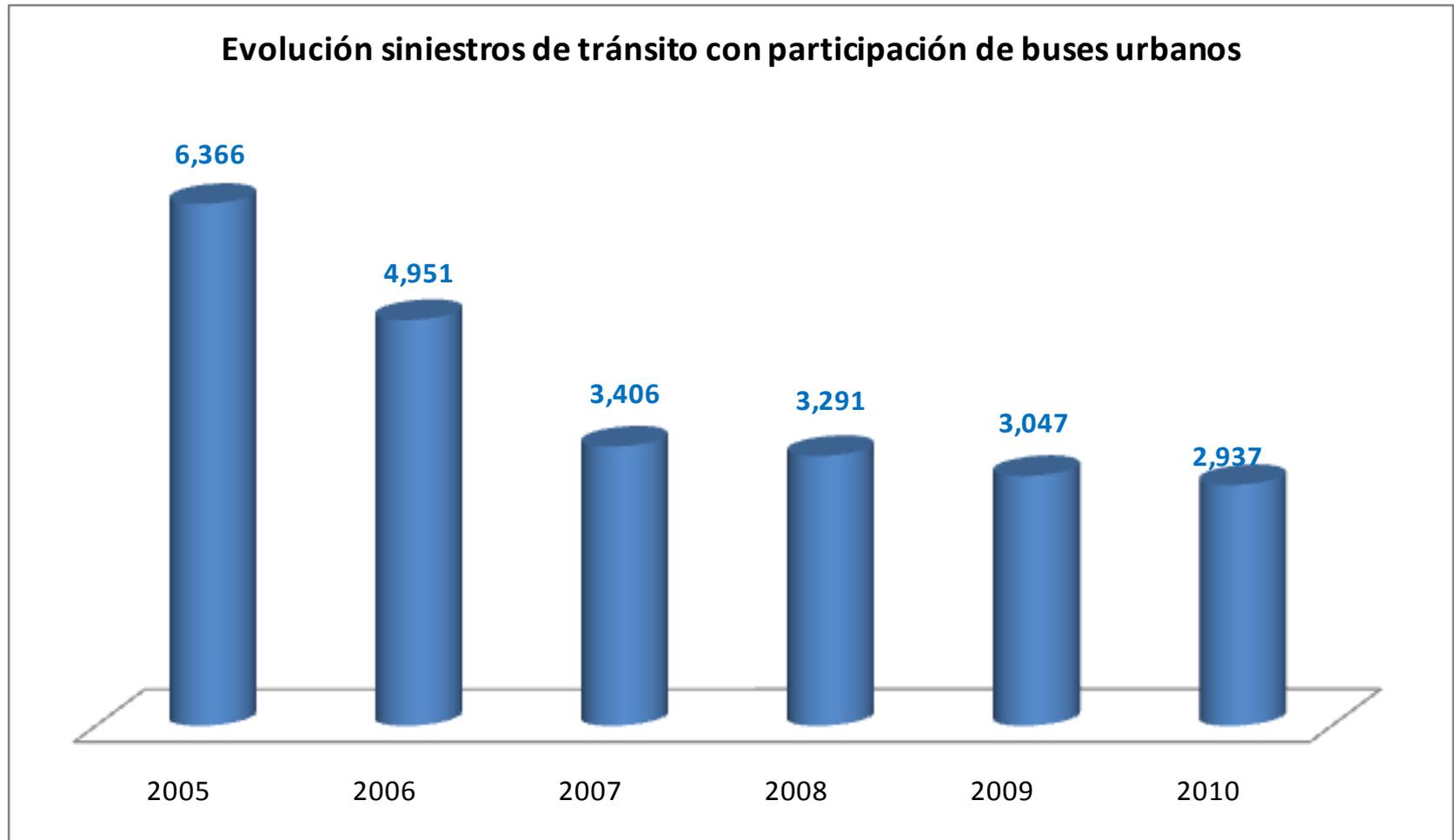
Conclusiones

- ▶ Disminución de $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de MP10 en Santiago desde el año 2007, lo que es coincidente con el año de la implementación del Transantiago
- ▶ Ahorro de más de \$100.000 millones por año como consecuencia de la reducción de las concentraciones atribuibles al plan de transportes (en escenario medio), de los cuáles 12% equivale a ahorro fiscal por concepto de gasto en salud. Dentro del rango estimado por Cifuentes, et al (2011) para MP2,5
- ▶ Resultados sugieren que los cortes en el suministro de gas argentino ocultaron el efecto benéfico del Transantiago sobre las concentraciones de MP10

Los impactos del Transantiago en la contaminación de Santiago: una aproximación econométrica

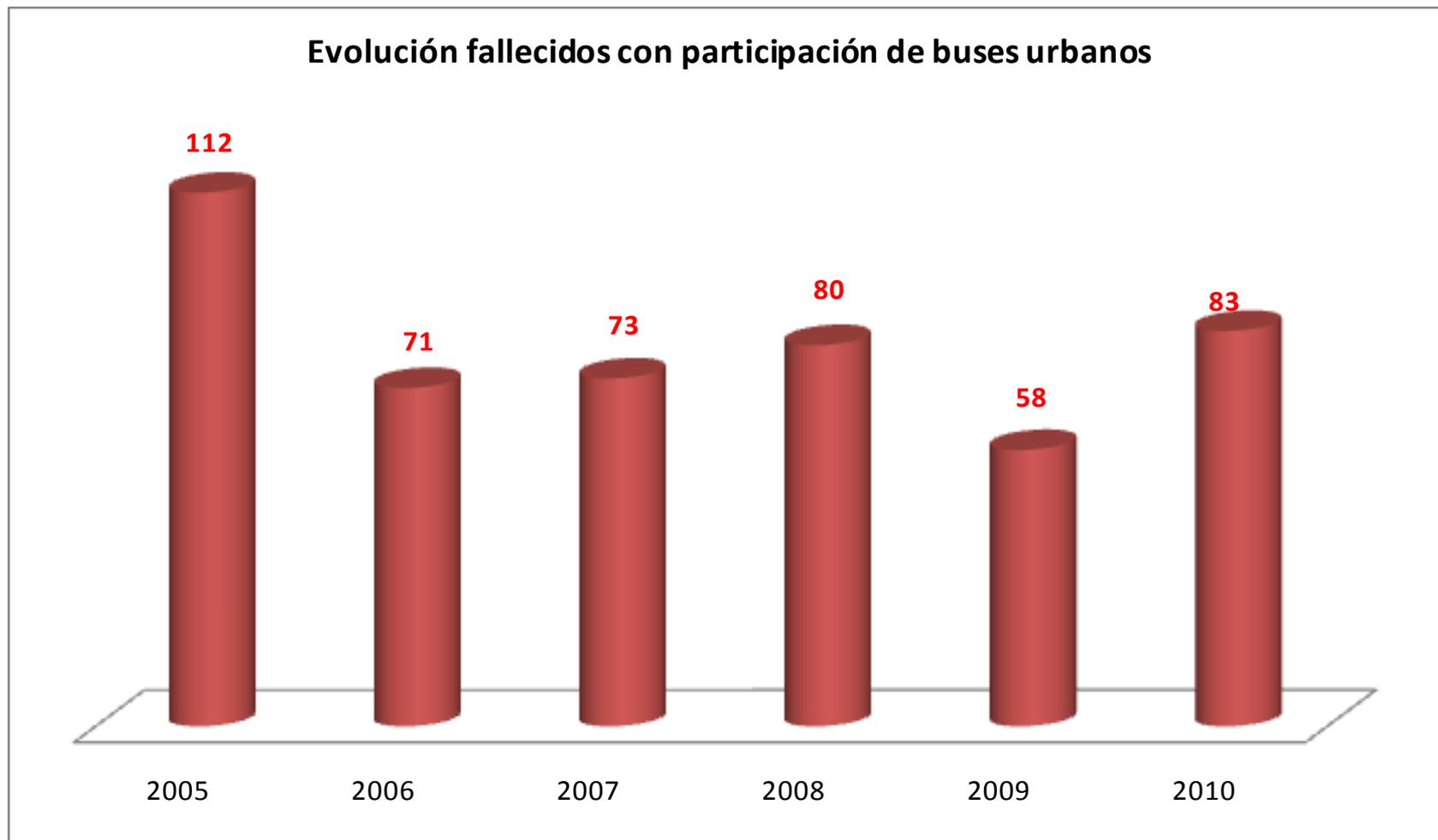
Eugenio Figueroa, Andrés Gomez-Lobo, Pablo Jorquera,
Felipe Labrin

Accidentes: siniestros



Fuente: Carabineros de Chile

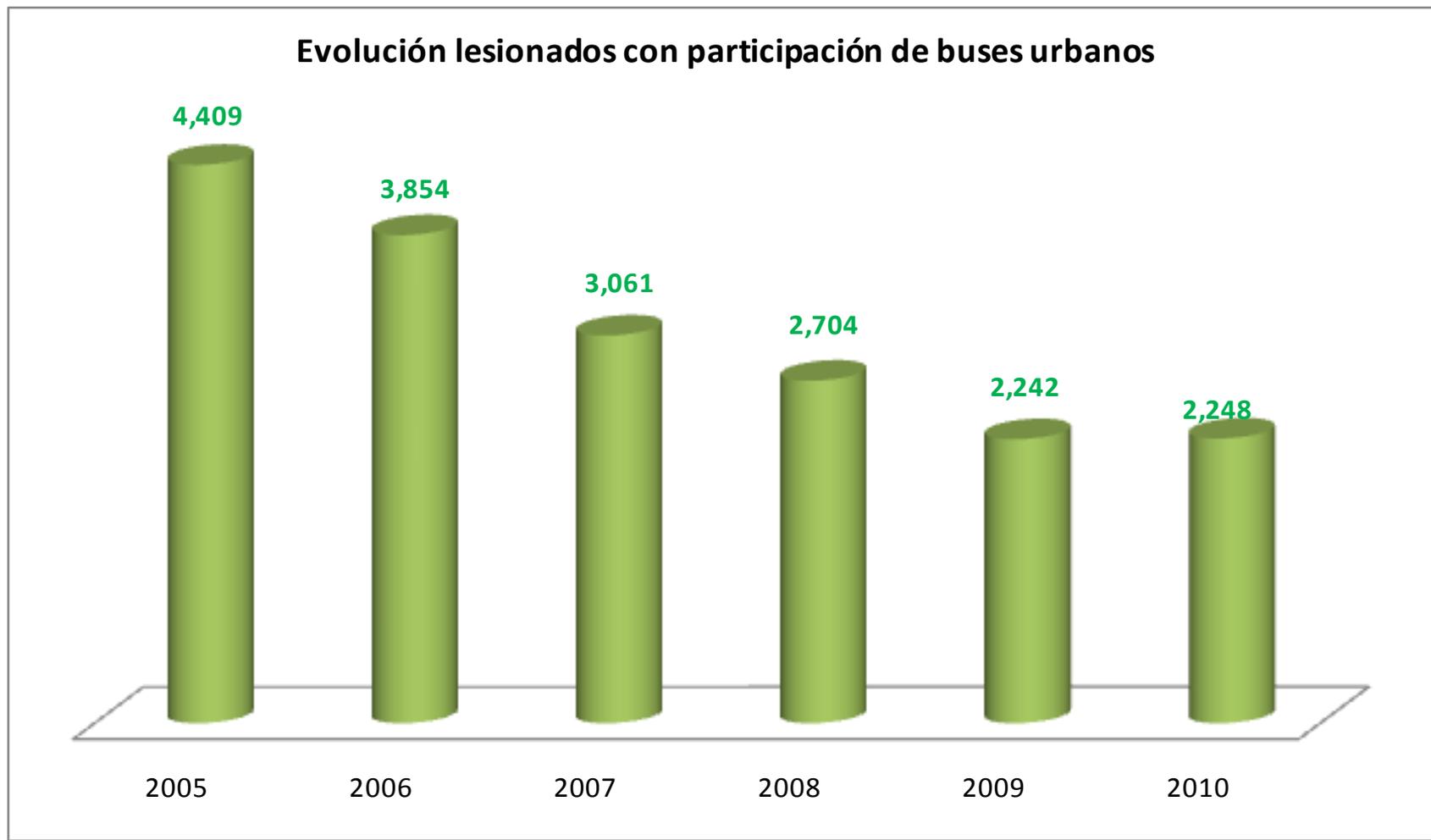
Accidentes: fallecidos



Fuente: Carabineros de Chile

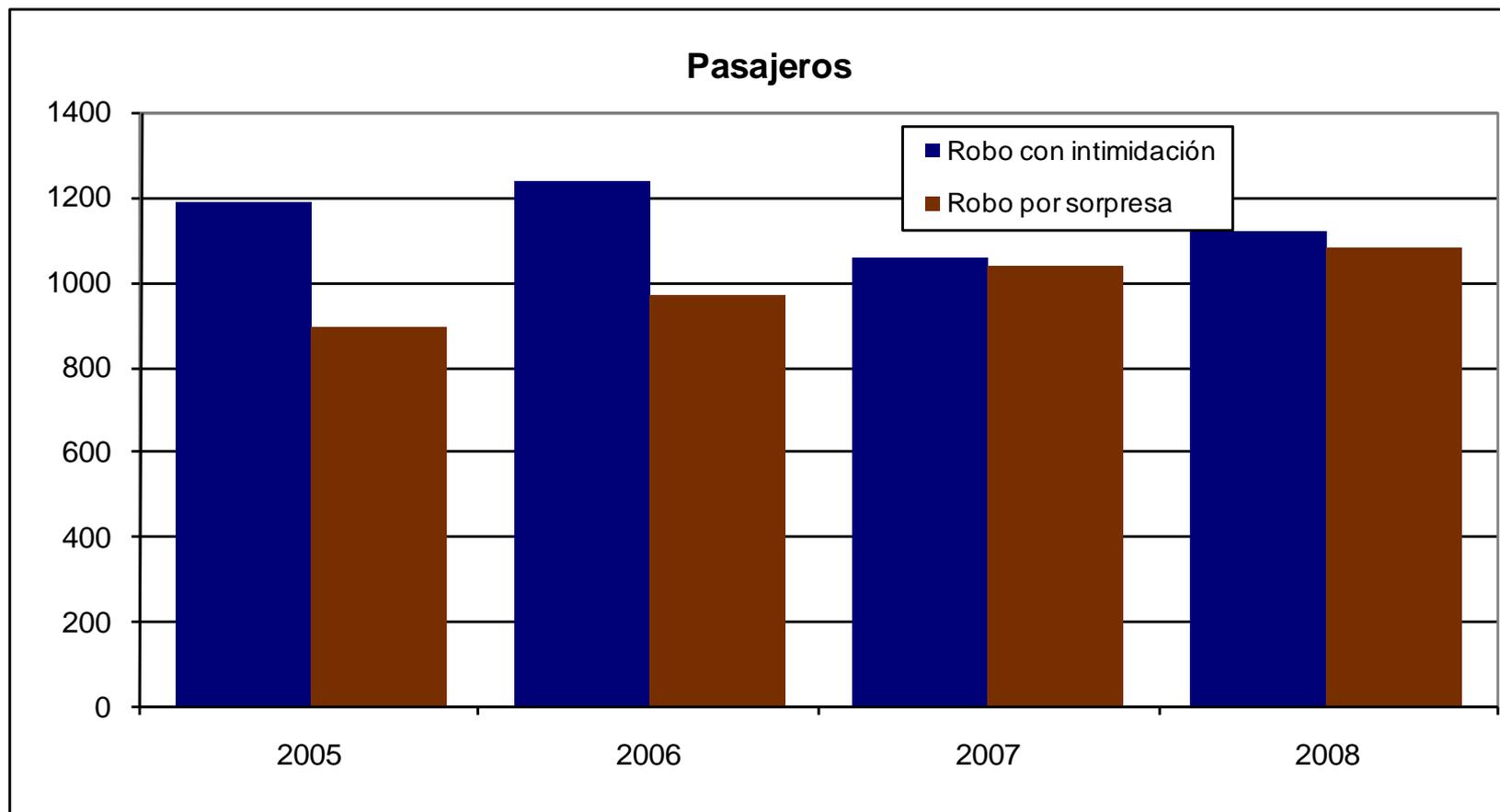


Accidentes: lesionados



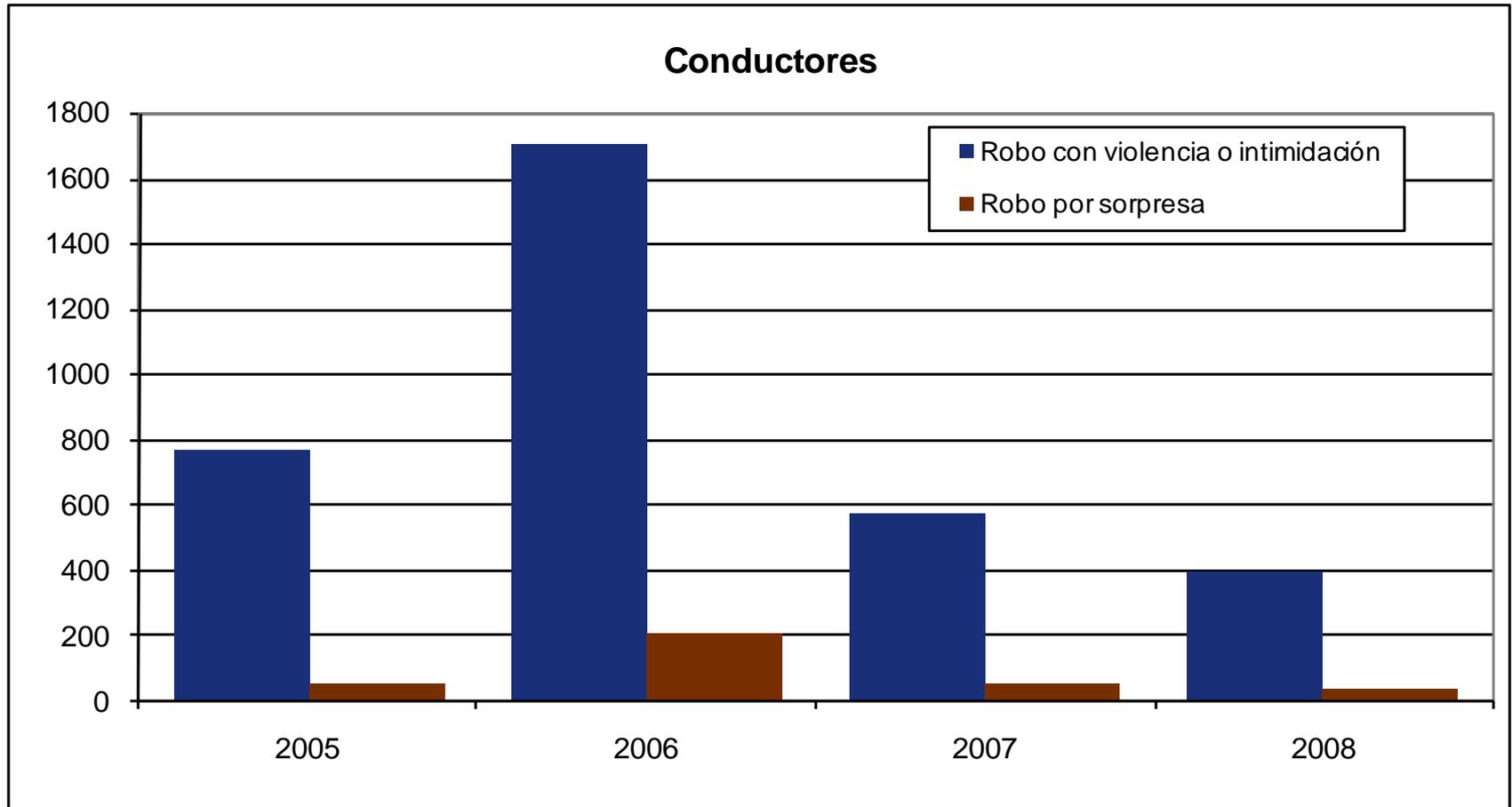
Fuente: Carabineros de Chile

Asaltos: pasajeros



Fuente: Carabineros de Chile

Asaltos: conductores



Fuente: Carabineros de Chile



Datos

- ▶ **Condiciones meteorológicas y atmosféricas: CENMA, Universidad de Chile**
 - ▶ Índice Misumi
 - ▶ Precipitaciones
- ▶ **Cortes del suministro de gas de Argentina: CNE**
 - ▶ 2004-2009
- ▶ **Actividad Económica: Banco Central de Chile**
 - ▶ IMACEC
- ▶ **Episodios críticos: SEREMI Salud R.M.**
 - ▶ Alertas, Preemergencias y Emergencias
- ▶ **Calidad combustibles: ENAP**
 - ▶ Cantidad de Azufre presente en el diesel ciudad.



Casos no sucedidos (Entre 2007-2010)

	Escenario Alto	Escenario Medio	Escenario Bajo
Mortalidad	1.680	500	432
Morbilidad			
Admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias	121	103	90
Admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares	64	52	39
Visitas a sala de urgencia por enfermedades respiratorias	603	515	450
Días de actividad restringida	2.069.184	1.590.598	1.080.740
Enfermedades respiratorias bajas en niños (bronquites y tos)	4.461	3.067	1.952
Bronquitis crónica	5.264	3.453	1.698
Síntomas respiratorios agudos	21.763.955	14.071.179	6.409.675
Ataques de asma	864.122	256.036	144.239

Fuente: Elaboración propia.



Desglose de ahorro de costes 2007-2010

Motivo	Total Casos	Costos directos (\$)	Costos indirectos(\$)
Mortalidad	500	\$ -	\$ 15.398.025.228
Admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias	103	\$ 87.980.750	\$ 12.771.776
Admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares	52	\$ 1.010.177.775	\$ 7.983.244
Visitas a sala de urgencia por enfermedades respiratorias	515	\$ 3.883.944	\$ 19.157.535
Días de actividad restringida	1.590.598	\$ -	\$ 14.950.012.213
Enfermedades respiratorias bajas en niños	3.067	\$ 78.672.156	\$ 230.590.434
Bronquitis crónica	3.453	\$ 771.083.748	\$ 284.810.738.064
Sintomas Respiratorios Agudos	14.071.179	\$ 37.636.731.444	\$ 37.059.659.392
Ataques de Asma	256.036	\$ 9.796.067.401	\$ 15.882.447.350
Total		\$ 49.384.597.218	\$ 368.371.385.237

Fuente: Elaboración Propia



Casos evitados: Escenario Alto

	2007	2008	2009	2010	Total
Mortalidad	383	387	390	394	1.554
Morbilidad					
Admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias	30	30	39	12	111
Admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares	13	14	15	16	59
Visitas a sala de urgencia por enfermedades respiratorias	152	149	197	60	557
Días de actividad restringida	615511	624947	384219	337206	1.961.883
Enfermedades respiratorias bajas en niños (bronquitis y tos)	929	910	886	1400	4.125
Bronquitis crónica	1187	1207	1227	1247	4.868
Síntomas respiratorios agudos	4820351	4860387	5150633	5247131	20.078.502
Ataques de asma	197089	198883	200678	202472	799.121

Fuente: Elaboración Propia



Casos evitados: Escenario Medio

	2007	2008	2009	2010	Total
Mortalidad	114	115	116	117	462
Morbilidad					
Admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias	26	25	34	10	95
Admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares	11	12	12	13	48
Visitas a sala de urgencia por enfermedades respiratorias	130	127	168	51	476
Días de actividad restringida	410135	416850	363036	315577	1.505.598
Enfermedades respiratorias bajas en niños (bronquitis y tos)	638	626	609	963	2.836
Bronquitis crónica	778	792	805	818	3.193
Síntomas respiratorios agudos	3162003	3187798	3274153	3354130	12.978.084
Ataques de asma	58397	58928	59460	59992	236.777

Fuente: Elaboración Propia



Casos evitados: Escenario Bajo

	2007	2008	2009	2010	Total
Mortalidad	99	99	100	101	399
Morbilidad					
Admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias	23	22	29	9	83
Admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares	8	9	9	10	36
Visitas a sala de urgencia por enfermedades respiratorias	113	111	147	45	416
Días de actividad restringida	277039	281784	260883	211866	1.031.573
Enfermedades respiratorias bajas en niños (bronquites y tos)	406	398	388	613	1.805
Bronquitis crónica	383	389	396	402	1.570
Síntomas respiratorios agudos	1431375	1442178	1478642	1543211	5.895.406
Ataques de asma	32898	33198	33497	33797	133.390

Fuente: Elaboración Propia



Cifuentes, et al (2011)

- ▶ Estima valor de impacto en salud de una disminución en el PM2,5.
- ▶ Valor entre US\$15 millones y US\$164 millones por microgramo
- ▶ Nuestros resultados probablemente subestiman reducción de PM2,5
- ▶ De ser así, los beneficios serían como mínimo entre US\$46 y US\$500 millones por año

