

Evaluación cuantitativa de calidad de aire interior (IAQ) en cabinas de conductores de buses interurbanos.

Autores

Ing. Santiago Mansilla Pérez

Dr. Eloy Mansilla Lucero

Dr. Patricia Lillo Zurita

Ing. Gabriel Mansilla Lucero

Estudio realizado con el patrocinio de la Gerencia de Gestión del Conocimiento de Mutual de Seguridad de la Cámara Chilena de la Construcción (2016-2017) en el marco de concurso de proyectos de investigación de seguridad social.

Antecedentes

* Usha et al. (Berkeley 2012) *Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance*

Estudios evidencian que un nivel alto de dióxido de carbono puede causar aumento de la fatiga y somnolencia y disminuir la velocidad de reacción en seres humanos. *

Somnolencia es un factor relevante en accidentes de tráfico, especialmente en viajes largos.

En Chile los accidentes de tráfico representan un alto porcentaje tanto de accidentes comunes como laborales

En cabinas de vehículos que no se ventilan adecuadamente se acumula CO₂ durante el viaje.

CO₂ es un trazador de calidad de aire interior

¿Cuánto incide el tiempo de conducción y la cantidad de pasajeros en el deterioro de la calidad de aire interior en las cabinas de buses interurbanos?

¿Qué otros factores pueden influir en aumento de CO₂ en las cabinas?

Preguntas de Investigación

Objetivo General

Verificar si las condiciones del ambiente de trabajo en buses de transporte interurbano de pasajeros se deterioran con los tiempos de viaje y cantidad de pasajeros y si tales condiciones cumplen con recomendaciones internacionales para IAQ.



Metodología

DISEÑO: Estudio de cohorte
transversal analítico.

MARCO MUESTRAL: muestreo
proporcional por cuotas.

Conglomerados: viajes cortos,
medios y largos

Cobertura regional del trabajo de campo

Regiones	Ciudades
Antofagasta	Calama
	Antofagasta
Atacama	Chañaral
	Copiapó
	Vallenar
Coquimbo	La Serena
	Los Vilos
Valparaíso	Valparaíso
	Viña del Mar
	San Antonio
	El Tabo
	Quillota
	Quilpué
	La Laguna
	Papudo
Región Metropolitana	Santiago
O'Higgins	Rancagua
Maule	Curicó
Bío Bío	Concepción
	Talcahuano



Campañas y mediciones realizadas

Tipo de Viaje	Campañas válidas Verano	Campañas válidas Invierno	Totales Ejecutados
Cortos (< 2hr.)	33	25	58
Medios (2 a 4 hr.)	9	12	21
Largos (> 4 hr)	12	3	15
Totales	54	40	94

Toma de Muestra (Muestreo por accesibilidad)	
Período Verano	13 Oct 2016 al 13 Abr 2017
Período Invierno	08 Agosto a 13 Sept 2017
Distancia total recorrida en todas las campañas	17.398,2 km
Tiempo total muestreo continuo	260 hr.
Nº de Registros almacenados	33.378

Buses



Método

INSTRUMENTAL UTILIZADO



KIMO AQ200



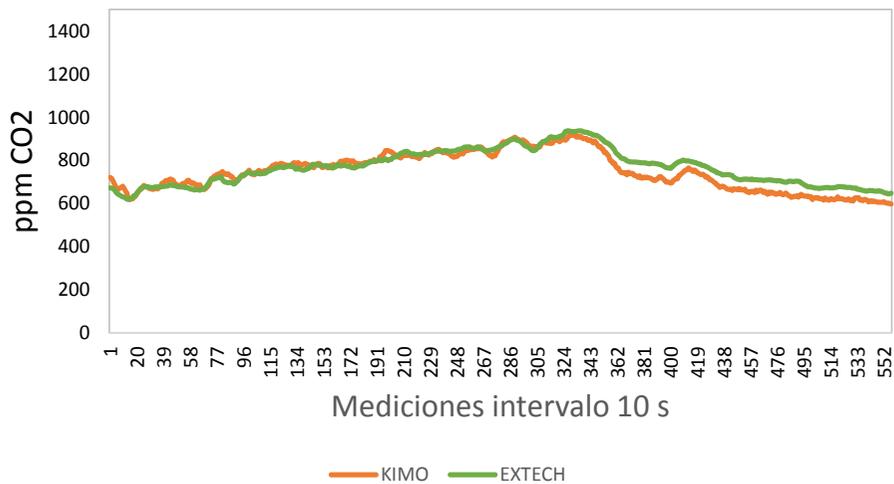
EXTECH EA-80



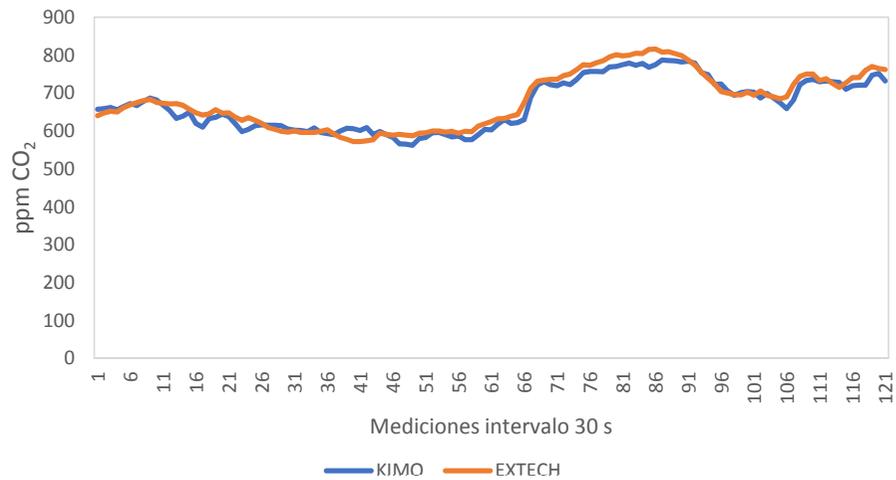
Las sondas fueron ubicadas en lugar fijo de la cabina no muy cerca de ventanas o puertas o zona de influencia respiratoria en la cabina, para evitar situaciones peak de concentraciones.

Auditoría de calidad de mediciones

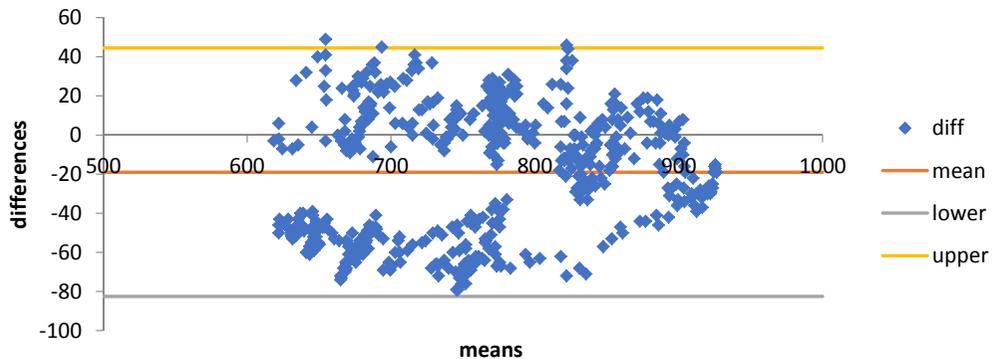
Intercomparación Kimo vs Extech
25 nov 2016



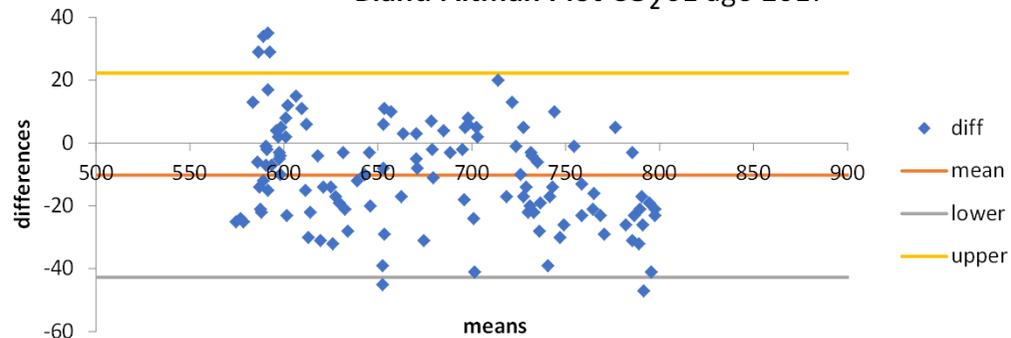
Comparación mediciones CO₂ KIMO y EXTECH
01 ago 2017



Bland-Altman Plot ppm CO₂ 25 Nov. 2016

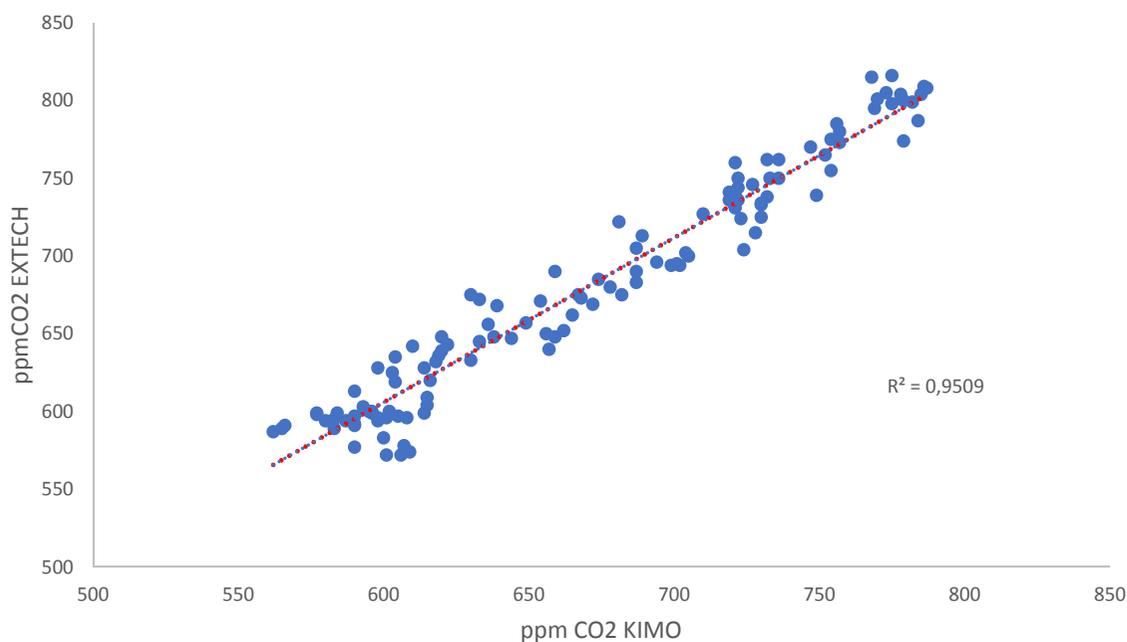


Bland-Altman Plot CO₂ 01 ago 2017



Auditoría de calidad de mediciones

Dispersion niveles de CO₂ Kimo vs Extech
1 ago 2017



Intraclass Correlation KIMO vs EXTECH 25 nov 2016		Intraclass Correlation KIMO vs EXTECH 01 Ago 2017	
ICC Case	2	ICC Case	2
ICC Type	1	ICC Type	1
Alpha	0,05	Alpha	0,05
ICC	0,9046	ICC	0,9626
lower	0,7940	lower	0,9043
upper	0,9463	upper	0,9812

Referencias concentración CO₂

* Chile DS594/1999

** ASHRAE

Aire seco ~ 350 ppm

Límite ocupacional 8 hr. = 4000 ppm*.

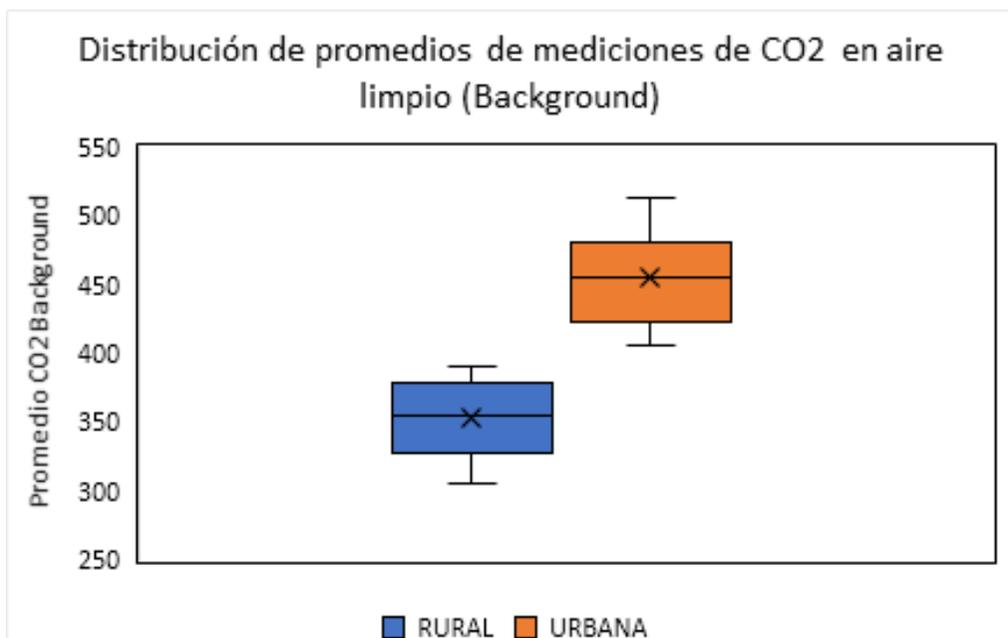
Recomendación confortabilidad

Max en espacio interior

1000 a 1200 ppm**

RESULTADOS

Niveles Background CO₂ En aire limpio



	Estadísticos descriptivos (ppm CO ₂)					
	N	Mín	Máx	Media	SD	Error estándar media
Zonas no urbanas	20	306	391	354	26,88	6,01
Zonas urbanas	30	406	513	455	31,95	5,83

Ambos conjuntos tuvieron distribución Normal

Resultados

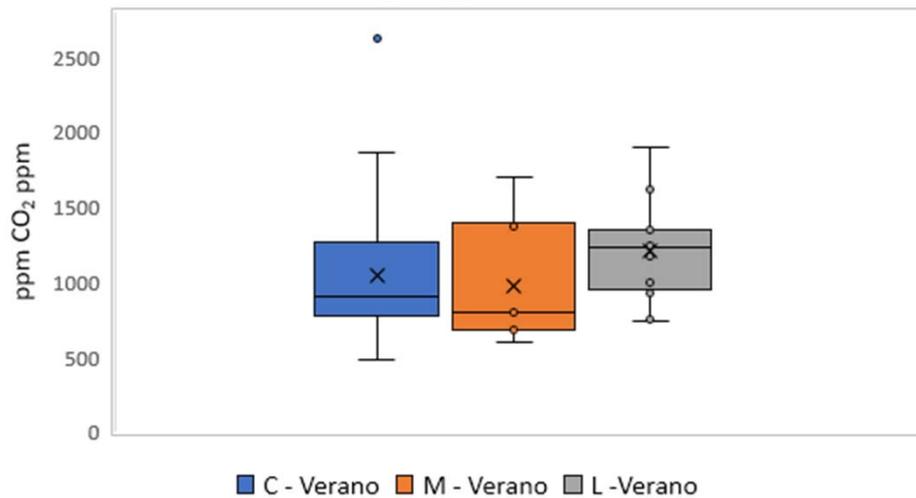
	Estadísticos descriptivos VERANO					Estadísticos descriptivos INVIERNO				
	N	Mínimo	Máximo	Media	SD	N	Mínimo	Máximo	Media	SD
CO (ppm)	54	0,0	0,27	0,018	0,05	40	0,0	,38	,016	,06
CO ₂ (ppm)	54	486	2621	1071	403,4	40	608	1862	1077	348,0
%HR	54	28,9	66,1	45,8	9,4	40	36,6	67,5	52,3	7,2
T °C	54	17,7	30,1	24	2,8	40	14,4	25,1	20	2,4
N válido	54					40				

No hay diferencias significativas en los promedios globales de los parámetros CO, CO₂, entre invierno y verano.

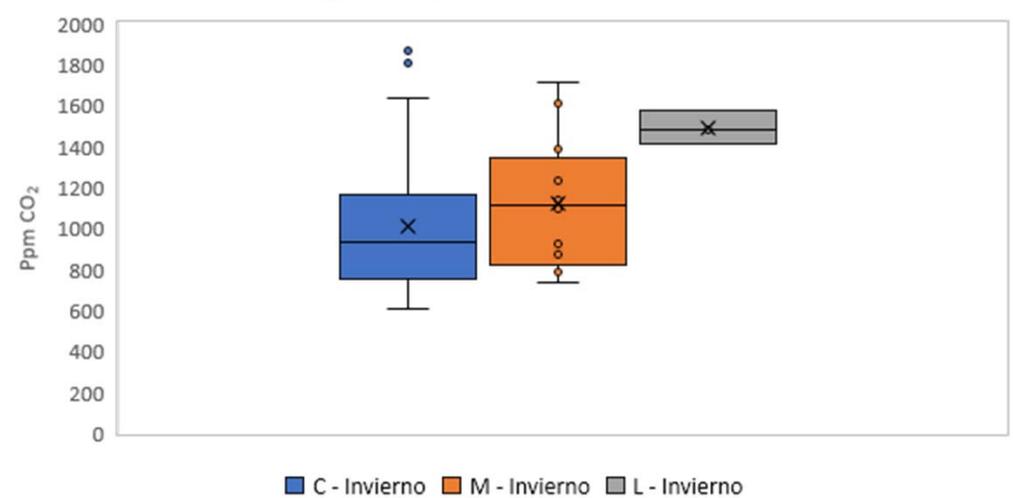
Resultados

Desagregación viajes cortos, medios y largos

Distribución de promedios de CO₂ en viajes cortos medios y largos de Verano



Distribución de promedios de CO₂ en viajes cortos medios y largos en períodos de invierno



Resultados

Correlación entre concentraciones de CO₂ y Número de pasajeros transportados

Viajes	Correlación CO ₂ vs N° de pasajeros Rho Spearman	Significancia (p-value)
Cortos	0,378	0,004
Medios	0,584	0,007
Largos	-0,005	0,985

La correlación entre concentración de CO₂ y número de pasajeros resultó significativa para viajes cortos y medios, sin embargo, los coeficientes de correlación son bajos.

Resultados

Comparación entre concentraciones en cabina de conductores y salón de pasajeros

Campaña	N registros	Promedios CO ₂ PASAJEROS	Promedios CO ₂ CONDUCTOR	N Pasajeros
A	307	1178	1642	34
B	205	1226	817	35
C	95	1731	1546	39
D	301	1215	817	34
E	62	1085	725	47
F	211	1016	734	42
G	256	1764	1328	60
H	229	1059	1346	34
I	125	904	1252	34
J	257	1668	1521	45

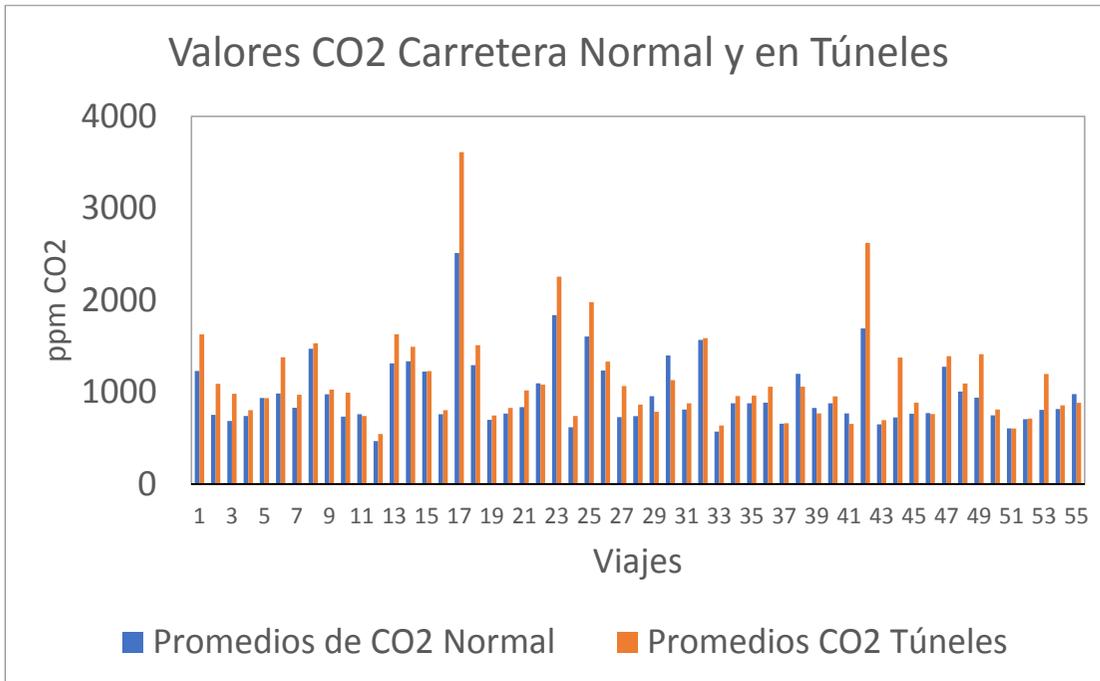
Test de Wilcoxon de los rangos con signo para analizar las diferencias entre concentraciones promedios medidas en salón de pasajeros y cabina de conductores en 10 viajes.

Estadísticos de prueba	
	Conductor - Pasajeros
Z	-0,866
Sig. Monte Carlo (bilateral)	0,432
Ic 99%	0,419 – 0.445

Se acepta H_0 : No hay diferencias significativas en que salón de pasajeros tenga mayores concentraciones que la cabina del conductor o viceversa.

Resultados

Comparación de concentraciones promedio de CO₂ al pasar por túneles versus carretera normal



Se analizaron 55 viajes en los que se disponían de pasos por túneles

	Estadísticos descriptivos					
	N	Mín	Máx	Media	Error St Media	SD
Carretera Normal	55	470	2515	982,53	50,118	371,683
Túneles	55	547	3613	1133,07	71,820	532,632

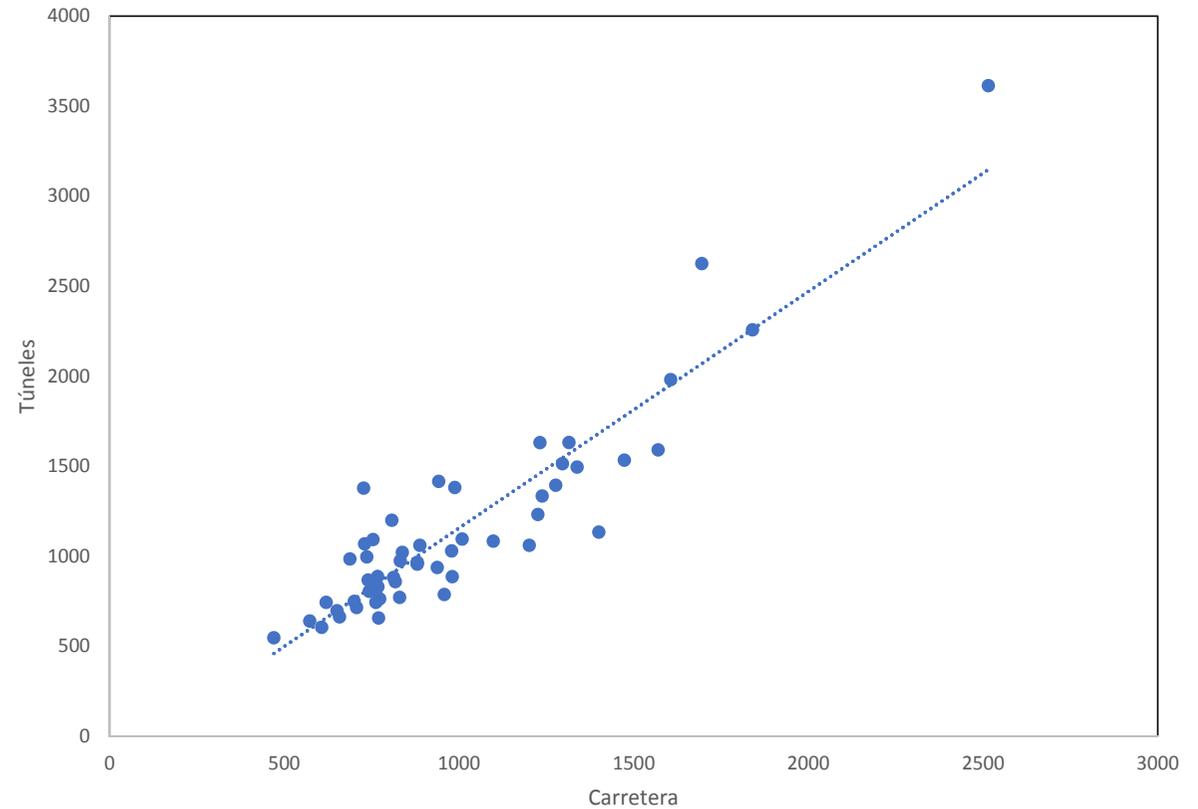
Prueba de Wilcoxon
 $Z = -4.709$ $p = 0,000$

Mediana túnel = 1,17 mediana carretera

Hay una diferencia significativa de concentraciones en túneles mayor que en carretera normal.

Resultados Correlación Túneles vs Carretera

Correlación concentraciones de CO₂
túneles vs carretera

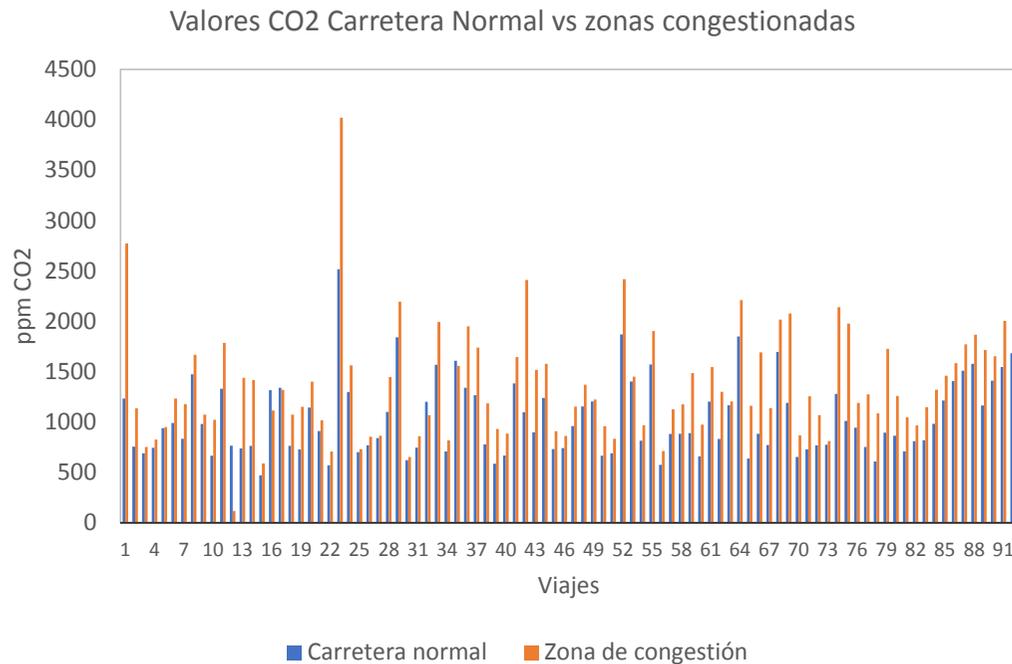


Spearman's coefficient (test)	
Alpha	0,05
Tails	2

rho	0,812
t-stat	10,137
p-value	5,20E-14

Resultados

Comparación de concentraciones de CO₂ en zonas congestionadas versus carretera normal



Se analizaron 92 viajes en los que se disponía de promedios en zonas congestionadas y carretera normal.

	N	Mín	Máx	Media	Error estándar	SD
NORMAL	92	470	2515	1030	39,1	375,5
Congestión	92	114	4020	1358	57,3	549,8

La media obtenida de los promedios de CO₂ en zonas congestionadas resultó un 32% más alta que en carretera normal y la mediana un 37% más alta

Prueba de Wilcoxon
Z = -7.764 p = 0,000

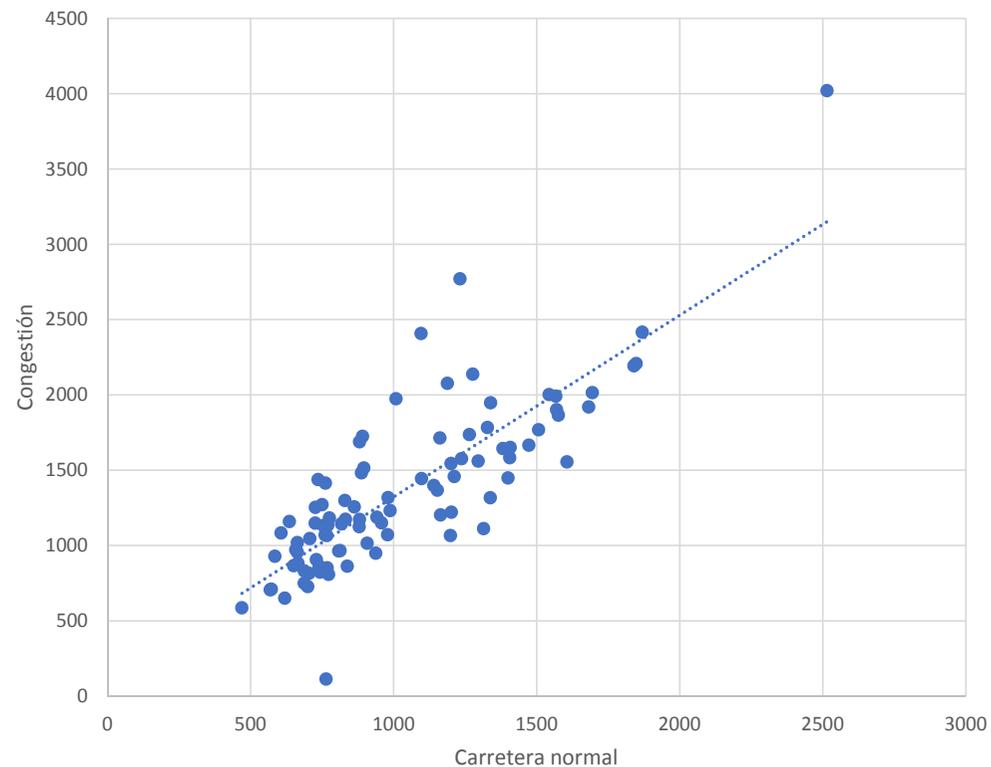
Mediana cong. = 1,37 mediana carretera

Hay una diferencia significativa de concentraciones en zonas congestionadas mayor que en carretera normal.

Resultados Correlación

Congestión vs carretera normal

Correlación concentraciones de CO₂
zonas congestionadas vs carretera normal



Spearman's coefficient (test)	
Alpha	0,05
Tails	2

rho	0,821
t-stat	13,645
p-value	1,24E-23

Resultados

Porcentaje del tiempo de viajes en que las concentraciones de CO₂ se mantuvieron por sobre 1000 ppm y sobre 2500 ppm.

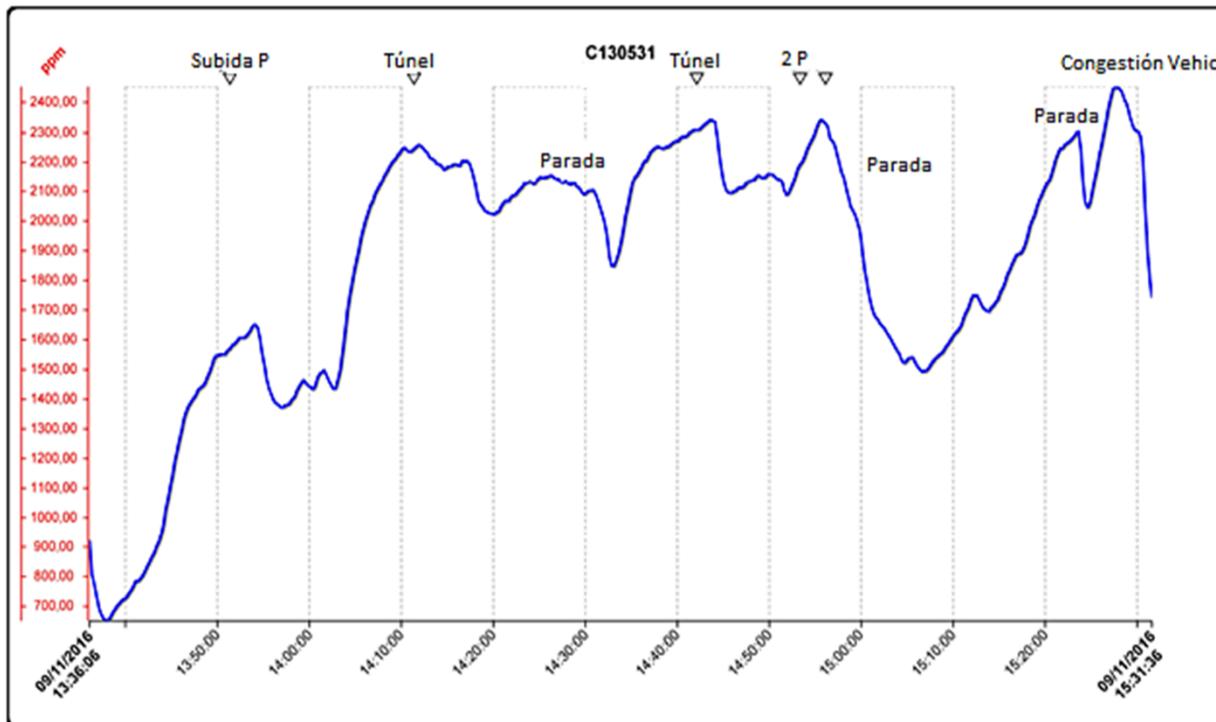
Período	C >	M >		L >		
	1000	C > 2500	1000	2500	1000	L > 2500
Invierno	40,77%	1,88%	56,17%	0,35%	88,18%	4,19%
Verano	38,70%	1,81%	35,31%	1,60%	58,19%	2,07%

Los promedios de tiempo en que las concentraciones se mantuvieron en niveles superiores a 1000 ppm CO₂ resultaron mayores en período de invierno que en verano

Resultados

Otros hallazgos

Evolución de concentraciones de CO₂ (ppm) a lo largo de un viaje Corto (Santiago–Viña del Mar) realizado el 9 de noviembre de 2016 entre 13:36 y 15:31



Se evidenciaron alzas de concentración cuando había presencia de otras personas en cabina (fiscalizadores, ayudantes, otros), en zonas congestionadas y en túneles.

Conclusiones

1. Los niveles de anhídrido carbónico en cabinas de conductores en promedio no superan los rangos recomendables, sin embargo hay períodos prolongados en que las concentraciones se encuentran en niveles altos que podría inducir somnolencia y pérdidas de capacidad de reacción de los conductores.
2. Tanto la cantidad de pasajeros transportados así como el tiempo de conducción no representan factores relevantes en el aumento de concentraciones de CO₂ en cabinas.

Conclusiones

3. Los factores ambientales externos tales como el aire en interior de túneles o el aire de zonas congestionadas son factores influyentes en el aumento de CO₂ interior en buses.
4. La ventilación natural o forzada aparecen como una solución viables de bajo costo para este factor de riesgo.

Ing. Santiago Mansilla Pérez

smansilla@gsesalud.cl

www.gsesalud.cl

Muchas gracias!!!

