



ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la obtención
del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz**

AUTORES:

Santiago Saul Oscullo Viteri
Anderson Paul Llumiquinga Constante

TUTOR:

Ing. Guillermo Gorky Reyes Campaña

Análisis de las emisiones contaminantes en
estacionamientos soterrados en el DMQ

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **SANTIAGO SAUL OSCULLO VITERI** y **ANDERSON PAUL LLUMIQUINGA CONSTANTE**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Santiago Oscullo



Anderson Llumiquinga

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **GUILLERMO GORKY REYES CAMPAÑA**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gorky Reyes', is written over a horizontal line. The signature is enclosed within a faint, light-colored circular stamp or watermark.

Gorky Reyes

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza.

A mis padres, Carlos y Claudia, por todo su amor y apoyo incondicional, por todas sus enseñanzas y todo el esfuerzo que hacen diariamente por nuestra familia.

A mis hermanos, con quienes comparto mis alegrías y tristezas, logros y tropiezos, y sé que me escuchan y apoyan siempre.

Santiago Saul Oscullo Viteri

DEDICATORIA

Para mis padres quienes me motivan a seguir adelante, creen en mí y dan lo mejor de sí mismo para verme feliz. Asimismo, dedico este título a mí mismo como recordatorio de que en la vida no existen límites.

A todos quienes confían en mí y fueron mi motivación.

Anderson Paul Llumiquinga Constante

AGRADECIMIENTO

A Dios, por las bendiciones que me ha brindado a lo largo de la vida, por llenarme de energía, fortaleza y motivación para alcanzar mis metas.

A mi compañero en este trabajo de investigación, Anderson, por su aporte, optimismo, conocimiento, y por su modo de ver el mundo, de quien he aprendido bastante.

Al Ing. Gorky Reyes, tutor de este trabajo de grado, por la confianza y por brindar siempre su tiempo y conocimientos a lo largo de toda esta investigación.

A cada uno de los profesores que fueron parte de mi formación en el transcurso de mi trayectoria académica.

A mi familia y amigos, por creer en mí y apoyarme siempre.

Santiago Saul Oscullo Viteri

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haber culminado una etapa de formación profesional, aprendizaje y educación necesarios para trascender en la vida. También quiero agradecer a mis padres Luis Llumiquinga y Susana Constante por haberme brindado todos los recursos necesarios y apoyo incondicional. Asimismo, agradezco a Santiago Oscullo por su aporte y dedicación fundamentales para llevar a cabo este proyecto. Así como también a nuestro director Ing. Gorky Reyes por su orientación y apoyo en cada etapa del proyecto.

Anderson Paul Llumiquinga Constante

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iv
DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
ANÁLISIS DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN ESTACIONAMIENTOS SOTERRADOS EN EL DMQ.....	11
RESUMEN	11
ABSTRACT	11
Introducción.....	12
Marco teórico.....	13
Materiales y métodos	15
Resultados y discusión.....	17
Conclusiones.....	21
Referencias	22
ANEXOS.....	25
ANEXOS INTRODUCCIÓN	25
ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	51
ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS	88
ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	104

ANÁLISIS DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN ESTACIONAMIENTOS SOTERRADOS EN EL DMQ

Oscullo S., Llumiquinga, A., Ing. Gorky Reyes

Estudiante de Ingeniería Automotriz – UIDE, saoscullovi@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Estudiante de Ingeniería Automotriz – UIDE, anllumiquingaco@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Docente de Ingeniería Automotriz – UIDE, gureyesca@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

RESUMEN

Diariamente más de 513 000 vehículos circulan en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), muchos de los cuales encuentran parqueadero en los estacionamientos soterrados de la ciudad. Los gases que los vehículos emiten traen consigo problemas relacionados a la calidad del aire, que dependen de varios factores; por tal motivo se analizó los niveles de dióxido de carbono (CO_2), formaldehído (HCHO) y compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC) generados en tres estacionamientos soterrados, mediante su cuantificación, estableciendo las variables que más influyen en su acumulación y el riesgo que suponen para las personas en su entorno inmediato. Se desarrolló una investigación cuantitativa y de corte transversal con un medidor de calidad del aire Dienmern bajo normativa GB/T 18883-2022 y se dividió cada área de estudio (AE) por zonas y escenarios. Los resultados muestran que las variables no afectaron al HCHO, cuyos niveles máximos fueron de $0,021 \text{ mg/m}^3$. En lo que respecta a CO_2 y TVOC, el área de estudio 1 (AE1) fue la más contaminada, con niveles de hasta $1517,4 \text{ ppm}$ en CO_2 y $1,118 \text{ mg/m}^3$ en TVOC, superando al área de estudio 2 (AE2) por 2,38% y 28,62%; y al área de estudio 3 (AE3) por 28,55% y 90,6% respectivamente. En escenarios, existió una diferencia estadísticamente significativa de contaminación al pasar del uno al dos, solo en las AE no ventiladas industrialmente. Además, los límites de la Organización Mundial de la Salud (OMS) fueron superados en el AE1 por 51,7% en CO_2 y por 11,2% en TVOC. Esto supone un riesgo potencial para la salud, puesto que estos gases ocasionan graves problemas respiratorios y cáncer a largo plazo; además, resalta la importancia del uso de equipo de protección personal (EPP), en especial, para el personal de trabajo.

Palabras clave: Estacionamiento soterrado, contaminación, ventilación, salud

ABSTRACT

Every day, more than 513,000 vehicles circulate in the Quito Metropolitan District (DMQ), many of which find parking in the city's underground parking lots. The gases that vehicles emit bring with them problems related to air quality, which depend on several factors. For this reason, the levels of carbon dioxide (CO_2), formaldehyde (HCHO) and total volatile organic compounds (TVOC) generated in three underground parking lots were analyzed, through their quantification, establishing the variables that most influence their accumulation and the risk that they mean in the immediate environment. A quantitative and cross-sectional investigation was conducted with a Dienmern air quality meter under GB/T 18883-2022 regulations and each study area (AE) was divided by zones and scenarios. The results show that the studied variables did not affect HCHO, whose maximum levels were 0.021 mg/m^3 . Regarding CO_2 and TVOC, study area 1 (AE1) was the most contaminated, with levels of up to $1,517.4 \text{ ppm}$ in CO_2 and $1,118 \text{ mg/m}^3$ in TVOC, exceeding study area 2 (AE2) by 2.38% and 28.62%; and study area 3 (AE3) for 28.55% and 90.6% respectively. Regarding scenarios, there was a statistically significant difference in contamination when going from one to two, only in AEs not industrially ventilated. In addition, the World Health Organization (WHO) limits were exceeded in AE1 by 51.7% in CO_2 and by 11.2% in TVOC. This poses a health risk, as these gases cause serious respiratory problems and cancer in the long term; In addition, it highlights the importance of the use of personal protective equipment (PPE), specifically for the working staff.

Keywords: Underground parking lot, pollution, ventilation, health

Introducción

Actualmente en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) existen más de 513 000 vehículos, con una tasa de crecimiento anual del 4,9% según las estimaciones de la Secretaría de Movilidad (Romero, 2022) que diariamente buscan dónde parquear, y encuentran en los más de 15 estacionamientos soterrados de la ciudad, la mejor opción. De acuerdo a un artículo realizado en Francia Metropolitana, las personas que realizan actividades dentro de un estacionamiento como limpieza de vehículos, explotación, mantenimiento o conservación de las instalaciones están amenazadas por una mala calidad del aire (ANSES, 2011), específicamente en aquellos parqueaderos soterrados de más de 200 plazas y mal ventilados, pues las emisiones contaminantes presentes repercuten directamente en su salud.

El objetivo del artículo fue analizar las emisiones contaminantes generadas en estacionamientos soterrados del DMQ, específicamente el dióxido de carbono (CO_2), formaldehído (HCHO) y compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC), mediante su cuantificación, estableciendo las variables que más influyen en su acumulación y el riesgo que suponen para las personas en su entorno inmediato. Según un artículo publicado en la revista *Nature Sustainability*, la concentración de CO_2 en interiores puede contribuir a reducir las habilidades cognitivas, causar enfermedades respiratorias y estrés oxidativo (Jacobson, Kler, Hernke, Braun, & Funk, 2019).

Una de las principales características de los compuestos orgánicos volátiles (COV's) por su parte es que son contaminantes del aire, encontrándose en forma de vapor a temperatura ambiente. De acuerdo a un estudio realizado en la ciudad de Quito, el nivel de estos gases supera los límites en varias parroquias (Altamirano, 2017) debido entre otras cosas a la cantidad de vehículos que circulan. Se expone al benceno, tolueno, etil-benceno y xileno (BTEX) como los más perjudiciales (Sánchez, Fabela, & Flores, 2019) y su concentración y exposición prolongada en lugares mal ventilados presenta efectos graves a la salud, llegando incluso a ser cancerígenos.

Otro de los gases que emiten los vehículos con gasolina oxigenada o convertidores catalíticos es el HCHO. De acuerdo a un artículo de *Nature Geoscience*, este gas cancerígeno es un importante contaminante de espacios cerrados como el interior de la cabina, afectando la calidad del aire en viajes largos si no se cuenta con una adecuada ventilación (Qin, Guo, Zhou, & Chen, 2020); es común la irritación de los ojos, la nariz, la garganta y lagrimeo, y se ha demostrado que las personas con asma son más sensibles a la exposición de este compuesto; el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) indica que una concentración de HCHO de 20 ppm constituye peligro inmediato para la vida (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016).

En un estudio realizado en estacionamientos cerrados de Quito se encontró que las concentraciones de CO_2 alcanzan picos instantáneos de más de 100 ppm en muchos casos, y que el 58.88% de personas que trabajan allí han presentado signos y síntomas de la inhalación prolongada de este gas (Gordón, 2012). El estudio evidencia la falta de infraestructura referente a sistemas de inyección de aire y extracción de gases tóxicos en muchos de estos estacionamientos, demostrando un riesgo a la salud latente para las personas que se encuentran en su entorno inmediato, tanto trabajando como parqueando sus vehículos.

Marco teórico

Las emisiones contaminantes existen debido a una liberación directa hacia la atmosfera de gases con partículas nocivas producto de procesos como la combustión; son sometidos a reacciones fisicoquímicas entre átomos y moléculas; y se ven condicionados de acuerdo a la topografía, condición climática, temperatura y humedad del lugar (Soca, 2021). El aumento de la emisión de gases contaminantes ha desencadenado una alteración en el equilibrio térmico de la Tierra, lo cual supone un incremento de la temperatura global del aire. (Benavides & León, 2007). La presencia de estos gases forma en la atmosfera smog fotoquímico perjudiciales para la salud y el medio ambiente (Terra, 2009). En la tabla 1 se observan los principales contaminantes atmosféricos químicos.

Tabla 1.

Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes.

Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM₁₀	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Vehículos Procesos industriales Humo del tabaco
Humos negros			
Dióxido de azufre (SO₂)	Primaria	Gas	Procesos industriales Vehículos
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos Estufas
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos Combustiones interiores Humo tabaco
Compuestos orgánicos volátiles (COV's)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos, industrias, tabaco, combustiones en interiores
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido	Vehículos, industria
Ozono (O₃)	Secundaria	Gas	Vehículos (Secundario a foto oxidación de NO y COVs)

Fuente. (Ballester, 2005)

Los COV's son un grupo de sustancias químicas constituidas por carbono, procedentes de fuentes antropogénicas y biogénicas distintas del metano, que producen oxidantes fotoquímicos en reacción con óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar. Sus principales propiedades características de bajo peso molecular y no iónicas las convierte en compuestos altamente infecciosos puesto que en su composición química albergan solventes y halógenos (Arrieta, 2019).

El HCHO es un gas incoloro altamente inflamable que ingresa al medio ambiente a partir de fuentes naturales de causas diversas como incendios forestales y procesos de

combustión, y mediante la oxidación de compuestos orgánicos naturales y antropogénicos. Cuando el HCHO se encuentra expuesto en la atmosfera, la mayor parte se degrada, pero no toda (Liteplo, R. G, Beauchamp, R, Chénier, R, Meek, M. E, World Health Organization. et al. , 2002).

El CO₂ es uno de los principales gases de efecto invernadero (Huang & Tan, 2014). Se obtienen mediante un proceso de combustión (Soca, 2021). La combustión de energías fósiles como el petróleo y carbón generan CO₂ además de otros gases de efecto invernadero como el óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄) y ozono (O₃); como resultado de esto, se libera hacia la atmósfera partículas de ceniza, hollín y compuestos de azufre (Benavides & León, 2007).

Los modelos matemáticos usados para el análisis de la contaminación del aire se dividen en dos: empírico y analítico. El primero relaciona los datos de la calidad del aire con los patrones de emisión que los acompañan, aquí, la química y meteorología son incluidos solamente de forma implícita (Kennedy & Bates, 1988). En el segundo método, las expresiones analíticas describen el transporte y los complejos procesos químicos que involucran la medición de los gases contaminantes. Las concentraciones son determinadas como funciones explícitas de la meteorología, topografía, cambios químicos, y una serie de características consideradas como variables de entrada.

El modelo analítico describe los procesos que afectan las concentraciones de contaminantes, resolviendo la ecuación de reacción y difusión atmosférica.

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} + \bar{U} \cdot \bar{V} C_i = \bar{V} \cdot D_i \bar{V} C_i + S \quad (1)$$

Donde C_i es la concentración de la especie, \bar{U} es el vector de velocidad del viento, D_i es la difusividad molecular de la especie; S representa las fuentes de contaminación; i iteraciones por reacción química, y t el tiempo (Kennedy & Bates, 1988).

Los estacionamientos se establecen en determinadas extensiones de terreno que pueden ser abiertas o cerradas, ubicados en sitios públicos o privados y son usados para el almacenamiento de vehículos. Son lugares donde la gente pasa de conducir un vehículo a caminar a pie. Los estacionamientos soterrados específicamente, comprenden un área delimitada en una construcción vertical y se encuentran cerca de áreas urbanizadas; su diseño asegura una buena calidad de aire con la inclusión de respiraderos o extractores que expulsan la contaminación que los vehículos producen dentro (Gowda, 2014)

La ventilación es la renovación y control total del ambiente por medio del ingreso de caudal de aire limpio para el control de calor, toxicidad y explosividad, en condiciones aceptables para la salud. Tiene como objetivo mantener una temperatura y contaminación aceptable por medio de su recirculación. Puede ser ventilación natural por medio de entradas de aire o mecánica, por medio sistemas de ventilación y extracción (Echeverri, 2013).

El caudal óptimo de un lugar específico se calcula mediante el número de renovaciones de aire por hora. Para hallar el caudal se requiere entonces el volumen total del área y el número de renovaciones por hora en base a la actividad desarrollada en el lugar

$$Q = VN \quad (2)$$

Donde Q es el caudal, V es el volumen del área y N representa el número de renovaciones por hora (Echeverri, 2013).

Materiales y métodos

Se partió del método inductivo para la selección del área de estudio, con la observación de las emisiones contaminantes en estacionamientos cuyas características coincidían con la mayoría de los estacionamientos soterrados de centros comerciales en el DMQ. El tipo de investigación fue cuantitativa, observacional y de corte transversal.

Mediante una sistemática revisión bibliográfica, se recopiló información relacionada al tema de estudio, basada en artículos científicos, libros y revistas. Se obtuvo las mediciones de campo mediante la observación directa; con los datos recopilados se utilizó la media aritmética para medir la tendencia central, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) respecto a los escenarios planteados y, por último, el método descriptivo para describir el problema a tratar, sus causas y consecuencias.

El presente artículo se realizó en el área urbana del DMQ y alrededores. Se escogieron tres áreas de estudio (AE) para realizar el monitoreo. Los dos primeros ubicados en la parte sur oriental de Quito y el último ubicado en la localidad de Quitumbe. En la tabla 2 se observan sus características.

Tabla 2.

Descripción de las AE.

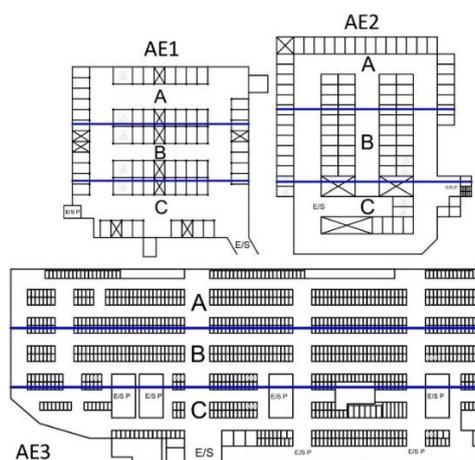
	Capacidad vehicular	Subsuelos	Área (m ²)
AE1	58	1	2091
AE2	81	2	3328
AE3	849	2	36000

Fuente. Autores.

En cada AE se establecieron tres zonas de monitoreo respecto a la salida más cercana del estacionamiento, como se muestra en la figura 1; esto para determinar las características estructurales y de diseño que más influyen en la calidad del aire y ventilación del lugar.

Figura 1.

Zonas de monitoreo



Fuente. Autores

Con una velocidad de marcha promedio de 4,175 km/h según un artículo de la Universidad de la república (Sgaravatti, Santos, Bermúdez, & Barboza, 2018), se tomó el tiempo que una persona de entre 0 – 60 años demora en llegar desde su auto a la salida, para evaluar el grado de contaminación, como se observa en la figura 3.

Tabla 3.

Tiempo de exposición.

	Tiempo promedio zona A (s)	Tiempo promedio zona B (s)	Tiempo promedio zona C (s)
AE1	60	40	20
AE2	70	50	30
AE3	120	80	40

Fuente. Autores.

Para la toma de datos se utilizó un monitor de calidad del aire de procedencia china marca Dienmern, el cual cumple con normativa GB/T 18883-2022 para medición y análisis del aire (Standardization Administration of China, 2022). El equipo detecta concentraciones de CO₂, HCHO, TVOC y partículas (PM1.0/PM2.5/PM10), además de medir la humedad relativa y temperatura. Incorpora sensores electroquímicos tipo DART y sensores de inducción de transmisión óptica para la ejecución de mediciones, expresadas y procesadas a través de algoritmos numéricos (AIMENT, 2022). El instrumento se observa en la figura 2.

Figura 2.

Medidor de calidad de aire Dienmern



Fuente. (AIMENT, 2022)

Fueron tomados los parámetros meteorológicos de temperatura y humedad relativa en cada uno de los tres estacionamientos soterrados seleccionados con la ayuda del monitor de aire de Dienmern. Estos datos fueron supervisados constantemente mientras se realizaba el monitoreo, siempre cuidando que ninguna barrera como paredes o vehículos interfirieran con las mediciones, para estandarizar las variables de entrada.

El equipo incorpora una tabla de referencia respecto a la concentración de cada uno de los gases que mide, la cual se observa en la tabla 4 categorizada por colores para un mejor entendimiento. El monitoreo de la calidad del aire se comparó bajo normativas y recomendaciones internacionales como las del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Organización Mundial de la Salud (OMS), RESET Standards y Agencia Ambiental Alemana (UBA).

Tabla 4.*Tabla de referencia de la calidad de aire.*

	Excelente	Buena	Leve	Moderado	Fuerte	Serio
CO₂ (ppm)	0 - 450	451 - 1000	1001 - 1500	1501 - 2000	2001 - 3000	> 3000
HCHO (mg/m ³)	0 - 0,8	0,081 - 0,1	0,101 - 0,2	0,201 - 0,5	0,501 - 1	> 1
TVOC (mg/m ³)	0 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 1,5	1,5 - 2	2 - 3	> 3
AQI	01	02	03	04	05	06

Fuente. (AIMENT, 2022)

Finalmente, se establecieron dos escenarios para el monitoreo: con el estacionamiento completamente lleno, y a la mitad de su capacidad; de esta forma se evaluó el impacto del número de vehículos en las concentraciones de las emisiones contaminantes. Se realizó veinte veces la medición por variable en cada zona y escenario. Y se calculó el caudal necesario en cada uno, para indicar la ventilación óptima de cada área de estudio.

Resultados y discusión

En la tabla 5 se denotan los parámetros de entrada utilizados para las mediciones de las variables evaluadas en el presente estudio en los tres estacionamientos.

Tabla 5.*Datos de entrada para cada escenario.*

	Capacidad vehicular (%)	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Altitud (m.s.n.m.)	Tiempo de calibración (min.)
Escenario 1	40 - 60	15 - 20	60 - 80	2800	5
Escenario 2	90 - 100	15 - 20	60 - 80	2800	5

Fuente. Autores.

Los resultados obtenidos se exponen en las tablas 6 - 8 para cada área de estudio y escenario; se utilizó la categorización por colores expuesta en la tabla 4.

Tabla 6.*Mediciones para AEI.*

Zona	Escenario 1			Escenario 2		
	CO ₂ (ppm)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	CO ₂ (ppm)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
A	1001,95	0,001	0,62	1517,4	0,013	0,894
B	792,8	0,001	0,601	840,7	0,021	1,118
C	500,95	0,010	0,328	545,45	0,018	0,154

Fuente. Autores.

Tabla 7.
Mediciones para AE2.

Zona	Escenario 1			Escenario 2		
	CO ₂ (ppm)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	CO ₂ (ppm)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
A	602,25	0,010	0,448	657,15	0,010	0,498
B	910,7	0,012	0,556	889,9	0,020	0,513
C	1010,5	0,011	0,619	1289	0,014	0,673

Fuente. Autores.

Tabla 8.
Mediciones para AE3.

Zona	Escenario 1			Escenario 2		
	CO ₂ (ppm)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)	CO ₂ (ppm)	HCHO (mg/m ³)	TVOC (mg/m ³)
A	996,25	0,012	0,451	1046,95	0,014	0,405
B	707,65	0,014	0,426	727,55	0,013	0,424
C	570,3	0,019	0,372	484,15	0,012	0,308

Fuente. Autores.

Las tablas 6 - 8 muestran que el estacionamiento AE1 es el más contaminado, superando al AE2 por un 2,38% y al AE3 por un 28,55% en CO₂, con niveles máximos de 1517,4 ppm. En cuestión de TVOC, el estacionamiento AE1 fue el más contaminado también, superando al AE2 por un 28,62% y al AE3 por un 90,6% aproximadamente, con niveles de hasta 1,118 mg/m³. Con respecto a sus zonas, las más alejadas a entradas de aire exterior superaron en concentraciones a las zonas más cercanas hasta en un 178,19% en CO₂ y 482,12% en TVOC. La principal razón de esto es su área, diseño y constitución: resulta claro que aquellas AE con más salidas directas al exterior tienen una mejor calidad de aire; otro factor también favorable es el buen diseño de la ventilación y extracción, asegurando un caudal apropiado en referencia a las renovaciones de aire por hora como indica el libro de ventilación industrial de Echeverri (Echeverri, 2013). A continuación, se observan los caudales de aire por área de estudio sugeridos para un estacionamiento soterrado con 7 renovaciones en promedio.

Tabla 9.
Caudal del aire sugerido aproximado

	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /h)
AE1	5 227,5	36 592,5
AE2	10 649,6	74 547,2
AE3	108 000	756 000

Fuente. Autores.

El caudal de ventilación de AE3 es el mayor pues se necesita más caudal para ventilar un lugar más amplio; el área cuenta con distintos tipos de ventiladores industriales como verticales, condensadores inversores de bomba de calor e incluso ventiladores de más capacidad como unidades modulares de tratamiento de aire (UMTAs), generando un caudal combinado aproximado de 450 000 m³/h. La ventilación industrial del área, sumado al diseño que posee, hacen que esta sea la menos contaminada. El caudal que necesita AE2 es mucho menor, no cuenta con ventilación o extracción industrial, pero se evidencia que el flujo de aire externo que ingresa al área debido a su diseño permite que no exista una acumulación excesiva de las emisiones contaminantes tratadas en esta investigación. El caudal que necesita AE1 es el menor y aun así es el más contaminado, pues cuenta con un sistema de extracción eólico no funcional; los gases contaminantes, específicamente el CO₂ se acumula demasiado en su zona A, por lo que la implementación de una unidad de aire exterior combinada de 40 000 m³/h, lograría establecer condiciones favorables para la ventilación y, por ende, la salud.

En cuanto a los escenarios, se evidenció una diferencia estadísticamente significativa en los estacionamientos AE1 y AE2 de acuerdo al análisis ANOVA realizado, con un aumento del escenario 1 al 2 de hasta 26,4% en CO₂ y 39,78% en TVOC. Por su parte el AE3 no mostró una diferencia estadísticamente significativa para ninguno de los gases al pasar de un escenario al otro. Esto se explica dada la ventilación con la que cada AE cuenta; ya que AE3 es la única ventilada industrialmente, existen valores máximos de contaminación que permiten antes de que el sistema de ventilación se ponga en funcionamiento. A continuación, se observan los valores de F y F crítica en la zona más contaminada para ambos gases en cada AE.

Tabla 10.

Valores de F y F crítica obtenidos del análisis ANOVA

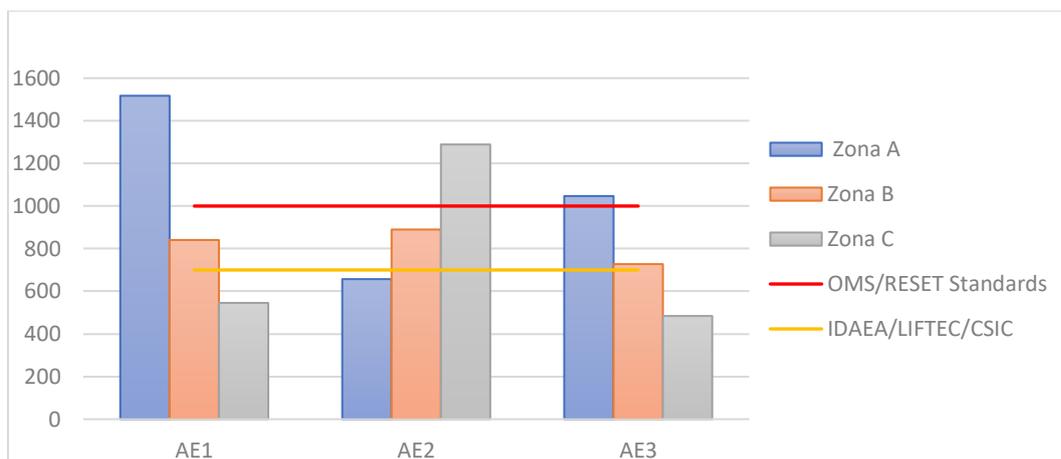
	F	F Crítico
AE1		
CO ₂	2709,67	4,1
TVOC	164,16	4,1
AE2		
CO ₂	643,71	4,1
TVOC	62,56	4,1
AE3		
CO ₂	0,78	4,1
TVOC	1,39	4,1

Fuente. Autores.

Las variables de la investigación demostraron no tener influencia en los valores de HCHO, lo que significa que, al entrar a la atmósfera, este contaminante se degrada y estabiliza en valores de bajo impacto para la salud. Sus niveles máximos fueron solamente de 0,021 mg/m³ en el AE1, 0,020 mg/m³ en el AE2 y 0,019 mg/m³ en el AE3. A continuación, se desarrolló una comparación con los valores de los otros dos gases medidos, CO₂ y TVOC entre áreas de estudio y normativas para el escenario más contaminado.

Figura 3.

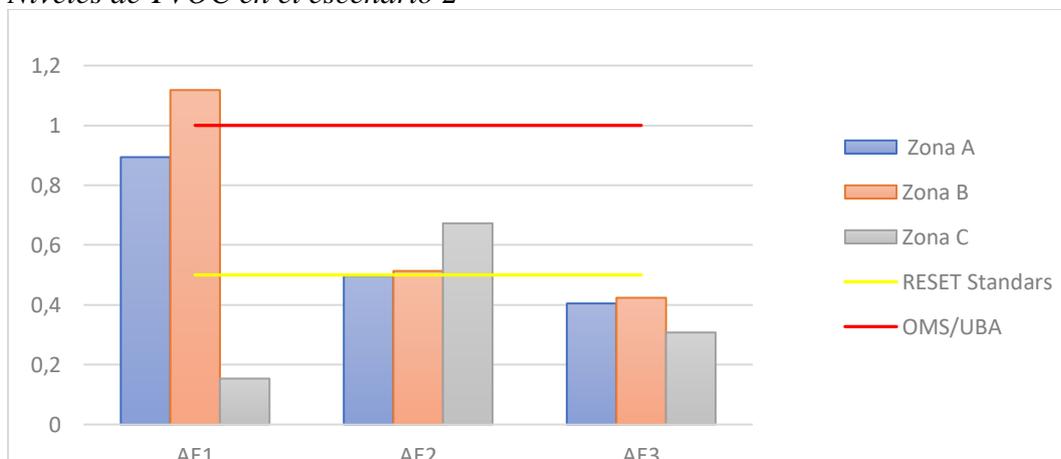
Niveles de CO₂ en el escenario 2



Fuente. Autores

El riesgo asumible de CO₂ según estudios de Harvard y guías de recomendación de la IDEA-CSIC es de menos de 700 ppm (Aire Ciudadano, 2021) mientras que tanto para la OMS como para RESET Standards el límite es de 1000 ppm (RESET, 2023). La figura muestra que el estacionamiento más contaminado supera la barrera de la OMS por 51,7%, el AE2 la supera por 28,9% y el AE3 por 4,7% en sus zonas más contaminadas. Superar los límites establecidos de CO₂ implica que ya existe una contaminación en el ambiente que afecta directamente a la salud: dolor de cabeza, mareo, dificultad para respirar y zumbido a los oídos. Para los estacionamientos AE1 y AE2 estos resultados representan un peligro para el personal de control que supervisa la entrada, parqueo y salida de vehículos pues no cuentan con equipo de protección personal especializado. La ventilación industrial representa la mejor opción para asegurar la calidad del aire en este tipo de espacios, con una disposición de ventiladores opuesta a la entrada directa de aire del exterior (Echeverri, 2013), para una mejor evacuación de las emisiones contaminantes, cumpliendo con el caudal que se indica en esta investigación.

Figura 4.
Niveles de TVOC en el escenario 2



Fuente. Autores

Respecto a TVOC, RESET Standards considera aceptable hasta 0,5 mg/m³ (RESET, 2023), mientras que la UBA y la OMS fijan hasta 1 mg/m³ un ambiente bueno sin que existan consecuencias para la salud (ATMO, 2023). El único estacionamiento que supera la barrera de la OMS es el AE1 en su zona más contaminada, por un 11,2%; el AE2 supera

únicamente a RESET Standards por un 34,5% mientras que los valores del AE3 están todos dentro de los límites. Superar niveles recomendados por OMS y UBA de TVOC da lugar a un ambiente de discomfort con irritación, olores fuertes percibidos y dolor de cabeza (ATMO, 2023), además de causar cáncer a largo plazo (Fernández de Gobeo, 2020). Un estudio realizado en Lima propone una idea automatizada para controlar estos peligros, con la inclusión de sensores y controles automáticos de extracción de acuerdo a la contaminación generada en el momento (Mora, 2019).

En general la buena calidad del aire es resultado del buen diseño del estacionamiento, con un plan eficiente de extracción o ventilación acorde a las necesidades y con la gente que labora dentro utilizando su debido equipo de protección personal (EPP) para evitar complicaciones pues es evidente que el peligro para la salud existe, al superarse todas las barreras que OMS establece. De acuerdo a IQ Air, el personal se encuentra un 95% protegido de contaminantes al utilizar mascarillas KN95, N95 o FFP2 (IQAir Staff Writers, 2021); y se complementa con gafas para proteger los ojos contra partículas en suspensión, además, de acuerdo al tipo de trabajo que se realice en estos espacios cerrados, también se pueden necesitar guantes, casco, calzado de seguridad y ropa de protección. Asimismo, aunque no es un EPP, un medidor de aire portátil puede ser una herramienta esencial para detectar niveles peligrosos de estos gases en parqueaderos soterrados y tomar medidas de precaución

Conclusiones

Ante los resultados encontrados a partir del estudio realizado, se evidenció que las emisiones contaminantes generadas en estacionamientos soterrados en el DMQ tienden a acumularse y generar una mala calidad de aire si no existe una ventilación apropiada, especialmente de CO₂ y TVOC que son fuentes de potenciales efectos nocivos para las personas, con síntomas como dolores de cabeza, mareo, dificultad para respirar, y complicaciones respiratorias graves a largo plazo. Se demostró también que las variables estudiadas no influyen en el HCHO, el cual al entrar en contacto con la atmósfera se estandariza en valores reducidos en cuanto a contaminación y peligro para la salud.

De los tres estacionamientos estudiados, el AE1 presentó un grado de contaminación de CO₂ mayor al AE2 en un 2,38% y al AE3 en un 28,55%, con niveles máximos de 1517,4 ppm, mientras que para TVOC el grado de contaminación fue un 28,62% mayor al AE2 y 90,6% frente al AE3, con niveles de hasta de 1,118 mg/m³, en el escenario más contaminado. Respecto a HCHO, sus niveles máximos fueron solamente de 0,021 mg/m³ en el AE1, 0,020 mg/m³ en el AE2 y 0,019 mg/m³ en el AE3. El estacionamiento AE1 fue el más contaminado ya que su sistema de extracción eólico no se encuentra en funcionamiento, y su diseño contempla una única entrada de aire directo del exterior. El AE2 tampoco cuenta con ventilación industrial, sin embargo, evacua mejor la contaminación debido a su diseño, con múltiples entradas de aire en su zona A. El AE3 es el menos contaminado debido a que a lo largo de sus zonas están distribuidos diversos tipos de ventiladores industriales, y en su diseño se contempla una amplia entrada de aire exterior en su zona C. De acuerdo a la fórmula del volumen por las renovaciones de aire promedio, se sugieren caudales de ventilación para las AE de 36000, 74547,2 y 756000 m³/h respectivamente.

Los escenarios mostraron una diferencia estadísticamente significativa en AE1 y AE2 de acuerdo a un análisis ANOVA, con un aumento del AE1 al AE2 de hasta 26,4% en CO₂ y 39,78% en TVOC. El AE3 no mostró una diferencia estadísticamente significativa, lo que

demuestra la influencia del número de vehículos en aquellos estacionamientos soterrados no ventilados industrialmente. En la investigación se dividieron a los estacionamientos en tres zonas, siendo A la más lejana a la salida peatonal y C la más cercana; aquellas zonas más alejadas a entradas de aire exterior superaron en concentraciones a las zonas más cercanas hasta en un 178,19% en CO₂ y 482,12% en TVOC. A las personas, además, les toma más tiempo salir de la zona más contaminada en dos de los tres estacionamientos investigados, haciendo que su tiempo de exposición sea mayor.

Respecto a normativas internacionales, con una capacidad vehicular de 90 – 100% el estacionamiento AE1 supera la barrera de OMS por 51,7%, el AE2 la supera por 28,9% y el AE3 por 4,7% en sus zonas más contaminadas en CO₂. Respecto a TVOC, el único estacionamiento que supera la barrera de la OMS es el AE1, por un 11,2%; el AE2 por su parte supera a RESET Standards por un 34,5% mientras que los valores del AE3 están todos dentro de los límites. Dados estos resultados, especialmente de CO₂ y TVOC, se resalta la importancia de la utilización de EPP principalmente para el personal que trabaja dentro de estos espacios; y la implementación de medidas y normativas que analicen aquellas variables que más influyen en la calidad del aire, como el caudal de ventilación y la infraestructura como tal, para así contar con un mejor control en la evacuación de la contaminación dentro de estos espacios, a nivel nacional.

Referencias

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Formaldehído (Formaldehyde)*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs111.html
- AIMENT. (2022). *Monitor de calidad del aire, detector de CO2 de mano de alta precisión AIMENT*. Obtenido de [https://www.amazon.com/Aiment-Handheld-Accurate-Multifunctional-Formaldehyde/dp/B0BCJXLTB4/ref=mp_s_a_1_2?crid=1SG55EKABTRQI&keywords=Biaoling%2B-%2BMonitor%2Bde%2Bcalidad%2Bde%2Baire%2C%2Bmedidor%2Bpreciso%2Bpara%2BCO2%2C%2Bformaldeh%2C%2BAdo%2B\(HCHO\)%2C](https://www.amazon.com/Aiment-Handheld-Accurate-Multifunctional-Formaldehyde/dp/B0BCJXLTB4/ref=mp_s_a_1_2?crid=1SG55EKABTRQI&keywords=Biaoling%2B-%2BMonitor%2Bde%2Bcalidad%2Bde%2Baire%2C%2Bmedidor%2Bpreciso%2Bpara%2BCO2%2C%2Bformaldeh%2C%2BAdo%2B(HCHO)%2C)
- Aire Ciudadano. (2021). *Medición de CO2 en fundación médica de temas respiratorios con altos valores*. Obtenido de <https://aireciudadano.com/2021/03/03/medicion-de-co2-es-fundacion-medica-de-temas-respiratorios-3-marzo-2021/>
- Altamirano, C. (2017). *Determinación de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX) en aire ambiente del Distrito Metropolitano de Quito mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13799/Determinaci%20de%20BTEX%20en%20aire%20ambiente%20del%20DMQ%20por%20cromatograf%20de%20gases%20FID-%20Camila%20Altamirano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Álvarez, L., & Taboada, R. (2022). *Manual de ciencia ciudadana: Primeros pasos para actuar frente al cambio climático y la salud*. Santa Marta: Editorial Unimagdalena.
- ANSES. (2011). *Calidad del aire en los aparcamientos cubiertos*. Obtenido de <https://prevencion.umh.es/files/2011/09/calidad-del-aire-en-los-aparcamientos-cubiertos.pdf>

- Arrieta, A. (2019). *Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COV) en ambientes exteriores. Estimación de la exposición de la población y del incremento de riesgo en salud. Aplicación al país Vasco*. Obtenido de <https://addi.ehu.es/handle/10810/35183>
- ATMO. (2023). *TVOC: Standards for Indoor Air Quality (IAQ)*. Obtenido de <https://atmotube.com/atmotube-support/standards-for-indoor-air-quality-iaq>
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*.
- Benavides, H., & León, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM*.
- Echeverri, C. (2013). *Ventilación industrial*. Medellín: Univesidad de Medellín.
- Fernández de Gobeo, A. (17 de Abril de 2020). *Utilidad de los VOC en el diagnóstico de la patología tumoral pulmonar y del cáncer colorrectal*. Obtenido de <http://www.oc.lm.ehu.es/Departamento/TFG/TFG%20Aritz.pdf>
- Gordón, C. (2012). *Exposición y efectos en la salud del personal que trabaja en estacionamientos cerrados por la inhalación de monóxido de carbono en el Distrito Metropolitano de Quito 2012*. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/12874/1/53407_1.pdf
- Gowda, K. (2014). *Analysis of Underground Parking Structure*. Obtenido de International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development: https://www.researchgate.net/publication/280132453_Analysis_of_Underground_Parking_Structure
- Huang, C.-H., & Tan, C.-S. (2014). *National Tsing Hua University*. Obtenido de Aerosol and Air Quality : <https://aaqr.org/articles/aaqr-13-10-ir-0326.pdf>
- IQAir Staff Writers . (2021). *Mascarillas contra la contaminación del aire: qué funciona y qué no*. Obtenido de <https://www.iqair.com/es/newsroom/air-pollution-masks-what-works-what-doesn-t>
- Jacobson, T. A., Kler, J. S., Hernke, M. T., Braun, R. K., & Funk, K. C. (2019). *Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0323-1>
- Kennedy, D., & Bates, R. (1988). *Air Pollution, the Automobile, and Public Health*. Obtenido de [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK218138/#:~:text=Mathematical%20models%20used%20in%20air,only%20implicitly%20\(Seinfeld%201975\)](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK218138/#:~:text=Mathematical%20models%20used%20in%20air,only%20implicitly%20(Seinfeld%201975)).
- Liteplo, R. G, Beauchamp, R, Chénier, R, Meek, M. E, World Health Organization. et al. . (2002). *Formaldehyde*. Obtenido de World Health Organization: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42430>
- Mora, M. P. (2019). *Diseño e implementación de un control automático para la extracción de monóxido de carbono para dos niveles de estacionamiento en sótano*. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5020>

- Qin, D., Guo, B., Zhou, J., & Chen, H. C. (2020). *Indoor air formaldehyde (HCHO) pollution of urban coach cabins*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41598-019-57263-4>
- RESET. (2023). *Data Standard and Tools for healthy and sustainable built environments*. Obtenido de <https://www.reset.build/>
- Romero, D. (2022). *Cada año se suman 17 539 vehículos nuevos en Quito*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/suman-vehiculos-nuevos-quito-2022.html>
- Sánchez, L., Fabela, M., & Flores, O. (2019). *Revisión de la normativa internacional sobre los límites de emisiones contaminantes de vehículos de carretera*. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt562.pdf>
- Seinfeld, J. H. (1975). *Air Pollution: Physical and Chemical Fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Sgaravatti, A., Santos, D., Bermúdez, G., & Barboza, A. (2018). *Velocidad de marcha del adulto mayor funcionalmente saludable*. Obtenido de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-12542018000200093#:~:text=La%20velocidad%20de%20la%20marcha%20media%20fue%201%2C10%20m,1%2C0%20m%2Fs
- Soca, J. (2021). *Emisiones contaminantes de los motores de combustión interna*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/357753927_EMISIONES_CONTAMINANTES_DE_LOS_MOTORES_DE_COMBUSTION_INTERNA
- Standardization Administration of China. (2022). *Indoor air quality standard (GB/T 18883-2022)*. Beijing, China: Standards Press of China.
- Terrera, O. (2009). *Universidad del Aconcagua facultad de ciencias médicas licenciatura en enfermería*. Obtenido de Consecuencias del smog en las vías respiratorias: http://bibliotecadigital.uda.edu.ar/objetos_digitales/151/tesis-3787-consecuencias.pdf

ANEXOS

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Anexo 1. Preguntas preliminares de investigación

- 1. ¿Cuál es tu objetivo con la investigación que propones? Enuncia el objetivo preliminar en una oración, de modo simple, claro y siendo muy específico.**

Determinar el nivel de CO₂, HCHO y TVOC generados en estacionamientos soterrados del DMQ, y calcular los valores de caudal de aire necesarios para una ventilación apropiada en estos espacios, comparando los resultados con normativas internacionales y evaluar los riesgos potenciales a las personas.

- 2. ¿Qué está siendo investigado?**

El nivel de gases contaminantes en estacionamientos soterrados, específicamente dióxido de carbono, formaldehído y compuestos orgánicos volátiles totales.

- 3. ¿Por qué escribes ahora, en este momento actual sobre tu tema de investigación?**

Porque el parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito crece día a día, así como los grandes centros comerciales que, siguiendo la tendencia de los otros, incorporan estacionamientos soterrados. Existen algunos muy antiguos cuyo plan de ventilación y extracción de gases no ha cambiado, por ende, es importante medir la calidad del aire en estos lugares y cuantificar el nivel de estos gases, y su impacto para las personas en relación a normativas internacionales como OMS.

- 4. ¿Es tu investigación actual? Explica por qué.**

Sí, porque la contaminación es un tema preocupante actualmente, el impacto del dióxido de carbono en exceso por ejemplo acarrea problemas graves a la salud, de igual forma los HCHO y TVOC; por ende, la investigación se sitúa en el contexto actual del Distrito Metropolitano de Quito, y se enfoca en cuantificar este impacto, determinar las variables que influyen en la concentración de los gases y los problemas para la salud.

- 5. ¿Hay algo novedoso en tu investigación? Explica qué es.**

Sí, para cada estacionamiento soterrado se calculan los caudales de aire necesarios para que exista una ventilación adecuada, y se toma los datos de contaminación para sacar conclusiones lógicas referentes a por qué se da la acumulación. Además, a cada estacionamiento se divide por zonas y escenarios, para medir la influencia de estas variables en la contaminación

- 6. ¿Es necesaria tu investigación? Explica por qué.**

Sí, porque es necesario cuidar la salud de las personas, y que estén conscientes del riesgo al que pueden estar expuestos al momento de parquear sus vehículos en estacionamientos soterrados, ya que se exponen al salir y caminar a la salida del mismo; además está el peligro latente para las personas que trabajan allí.

7. ¿Quién necesita de tu investigación?

Principalmente empresas relacionadas al estacionamiento de vehículos como OLE, Urban Park; también centros comerciales para la planeación del diseño y extracción de gases contaminantes, e incluso serviría que sea de conocimiento público para que las personas estén conscientes del riesgo. La información es relevante también para implementar políticas públicas en relación al cuidado del medio ambiente y regulaciones para un límite de contaminantes en espacios cerrados.

8. ¿Qué beneficios aporta tu investigación?

Es beneficiosa para generar conciencia en las personas, y además aporta beneficios en cuanto al buen diseño de extracción y ventilación de estacionamientos soterrados, pues la investigación muestra la tendencia de los contaminantes a acumularse en ciertos espacios y diseños específicos, entonces sirve para rediseñar el sistema y generar una mejor calidad de aire.

9. ¿Cuáles son los límites de tu investigación?

La investigación está limitada en varias variables: primero los gases, se mide CO₂, HCHO y TVOC; luego las áreas de estudio, se escogen tres áreas, dos con características similares y una más grande. También se tienen límites en cuanto al número de vehículos al momento de la medición, existiendo 2 escenarios, uno con el estacionamiento al 40-60% y otro al 90-100%.

10. ¿Cuál es el problema que quieres resolver con tu investigación?

Quiero resolver el mal diseño de ventilación y extracción de gases contaminantes en espacios cerrados, y además el desconocimiento de las personas en cuanto al nivel de contaminación al que están expuestos en estos espacios.

11. ¿Cuál es la solución, conocimiento o descubrimiento que deseas o esperas comunicar con tu trabajo?

Espero poder calcular satisfactoriamente los caudales requeridos por cada área de estudio investigada, y además evidenciar que en los estacionamientos soterrados del DMQ existe una mala calidad de aire, contaminación generada por los vehículos y que se acumula en estos espacios debido a una falta de ventilación o ineficaz sistema.

12. ¿Cómo encajan o se espera que encajen tus hallazgos con otras investigaciones y artículos publicados?

Se espera que la investigación corrobore otros estudios relacionados a la medición de gases contaminantes en estacionamientos de Quito, evidenciando una contaminación que supera los límites como los de la OMS. Además, se espera que los caudales de extracción encontrados estén acordes a los de otros estudios con áreas de estudio similares.

13. ¿Cuáles son los siguientes pasos a seguir, una vez que termines con tu investigación?

Al terminar mi investigación procederé a mandarlo a revisión para publicarlo a una revista científica, ya que me parece un tema de interés público que muestra la contaminación en estos espacios en los que algunas personas pasan mucho tiempo; y solo sería cuestión de implementar y ubicar ventiladores que satisfagan el caudal necesario calculado en la investigación.

14. ¿Describe lo que estás haciendo en tu investigación?

Primero la selección del área de estudio, investigando la tendencia de diseño de estacionamientos soterrados de centros comerciales y escogiendo aquellos más relevantes. Luego una revisión bibliográfica, recopilación de información relacionada al tema de estudio, es decir contaminación, CO₂, HCHO, TVOC, estacionamientos y modelos matemáticos de caudal de extracción y de medición de gases. Posteriormente se pasa a la medición con ayuda de un monitor de calidad de aire con cada área de estudio, el cálculo de los caudales respectivos y el análisis de los resultados obtenidos. Por último, se pasa a las conclusiones de la investigación.

Anexo 2. Sistema de hipótesis

Tema: Análisis de las emisiones contaminantes en estacionamientos soterrados en el DMQ

Sistema de hipótesis			Orden de consecuencia			
			Situación 1 Acumulación de CO ₂ , HCHO, TVOC	Situación 2 Diseño del parqueadero	Situación 3 Sistema de ventilación	Situación 4 Riesgo a la salud
Orden de causa	Situación 1	Acumulación de CO ₂ , HCHO, TVOC	x			La acumulación de CO ₂ , HCHO y TVOC en estacionamientos soterrados implica riesgos para la salud de las personas que trabajan o parquean allí
	Situación 2	Diseño del parqueadero	Un diseño del parqueadero sin las suficientes entradas naturales de aire causa una acumulación de CO ₂ , HCHO y TVOC	x	Un diseño del parqueadero inadecuado implica una necesidad de un sistema de ventilación eficiente para la buena calidad del aire	
	Situación 3	Sistema de ventilación	Un sistema de ventilación que no alcance el caudal necesario para la buena calidad de aire hace que se acumule el CO ₂ , HCHO y TVOC		x	Si el sistema de ventilación en un estacionamiento no asegura una calidad de aire buena, la salud de las personas está en riesgo
	Situación 4	Riesgo a la salud			Si las personas de un estacionamiento muestran síntomas de contaminación por CO ₂ , HCHO y TVOC, se necesita rediseñar el sistema de ventilación para mejorar la calidad del aire	x

Anexo 3. Posibles hipótesis

Posibles hipótesis

- La acumulación de CO₂, HCHO y TVOC en estacionamientos soterrados implica riesgos para la salud de las personas que trabajan o parquean allí.
- Un diseño del parqueadero sin las suficientes entradas naturales de aire causa una acumulación de CO₂, HCHO y TVOC.
- Un diseño del parqueadero inadecuado implica una necesidad de un sistema de ventilación eficiente para la buena calidad del aire.
- Un sistema de ventilación que no alcance el caudal necesario para la buena calidad de aire hace que se acumule el CO₂, HCHO y TVOC.
- Si el sistema de ventilación en un estacionamiento no asegura una calidad de aire buena, la salud de las personas está en riesgo
- Si las personas de un estacionamiento muestran síntomas de contaminación por CO₂, HCHO y TVOC, se necesita rediseñar el sistema de ventilación para mejorar la calidad del aire

Anexo 4. Romero, D. (2022). Cada año se suman 17 539 vehículos nuevos en Quito. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/suman-vehiculos-nuevos-quito-2022.html>

Cada año se suman 17 539 vehículos nuevos en Quito



Con el regreso del pico y placa en la capital volvieron los grandes embotellamientos diarios, como en el sector de El Trióbol, en el centro. Foto: Diego Pallero / El Comercio

Cada año, al **parque automotor** de Quito se suman 17 539 **vehículos**. Es decir, según las estimaciones de la Secretaría de Movilidad, el **crecimiento** promedio anual se ubica en el 4,9% y eso **repercute** en la **movilidad** y en el **medioambiente**.

En las **calles**, la percepción es que cada vez hay más **tráfico**. Esta sensación se fortaleció después de que la capital vivió por casi un año y medio la reducción de carros en las vías debido a las **restricciones** por la pandemia del covid-19. En noviembre pasado volvió el pico y placa. Para los conductores, retornaron las **congestiones** de los tiempos de prepandemia.

Julián Mármol viaja a diario entre Carcelén y el sector de La Alameda. Comentó que durante los confinamientos, ese **trayecto** podía hacerlo en máximo 40 minutos viajando en bus. Ahora, ese periplo puede llegar en horas pico hasta los 60 minutos.

En **vehículo** particular los tiempos de traslado se incrementaron. Por ejemplo Graciela Páez, que vive en Tumbaco y viaja a diario a Quito, contó que durante las restricciones el viaje hasta el túnel Guayasamín podía tomar unos 20 minutos. Ahora, en las noches, el regreso le toma hasta 35.

En diciembre pasado, a propósito de una **evaluación** sobre el retorno del **pico y placa**, la Secretaría de Movilidad dijo que el parque automotor de la ciudad asciende a cerca de 513 000 vehículos.

Sin embargo, al cierre de 2021, la Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT) matriculó 404 327. Es decir, hay una diferencia de 108 673 automotores que no cumplieron con el trámite. Además, según la misma AMT, la proyección de **matriculación** del año pasado era de 420 000 carros.

¿Cómo se explica? El ente de control de Tránsito en Quito reconoce que no todos los vehículos cumplen con la matriculación en la ciudad. Para completar el trámite pueden recurrir a otras provincias.

Además, a decir de la Secretaría, el total del parque automotor se estableció con base en una proyección, tomando en cuenta que en 2020 no se realizó la **revisión técnica vehicular** por la pandemia. A esto se suman los vehículos que a diario ingresan a Quito de otros cantones, como Rumiñahui.



CALIDAD DEL AIRE EN LOS APARCAMIENTOS CUBIERTOS

ANSES - Francia

Existen pocos datos fiables sobre el censo de aparcamientos cubiertos en Francia. Según la Federación Nacional de Oficios del Estacionamiento (FNMS), la Francia metropolitana cuenta con alrededor de 2.000 estacionamientos públicos, de los cuales 1.700 tienen una capacidad superior a 200 plazas.

La Agencia Nacional de seguridad alimentaria, el medio ambiente y el trabajo (ANSES) ha publicado recientemente un informe sobre los riesgos para la salud de los trabajadores de estos establecimientos, asociados a la contaminación del aire. Entre diciembre de 2.008 y marzo de 2.009 realizó una encuesta transversal a escala nacional (Francia metropolitana) dirigida a 467 aparcamientos, con el objetivo principal de identificar y evaluar las distintas actividades que se realizan en estos establecimientos, el tiempo que se dedica a cada una, y el nivel de exposición a los contaminantes presentes en la atmósfera de trabajo.

La tasa de respuesta a la encuesta fue del 91%. Del conjunto de respuestas se seleccionó una muestra de estudio constituida por 292 aparcamientos repartidos en 68 ciudades. Para dicha selección se consideraron los criterios siguientes: que estuvieran abiertos al público; que tuvieran una capacidad superior o igual a 200 plazas de aparcamiento; y que no estuvieran bien ventilados.

Los resultados de la encuesta revelan lo siguiente:

- Las actividades de explotación del aparcamiento y de limpieza de vehículos son las que exigen un mayor tiempo de presencia de los trabajadores, y por lo tanto las que conllevan un mayor riesgo de exposición.
- Las actividades de mantenimiento y conservación del aparcamiento y sus instalaciones (barreras y equipamiento de peaje, ventilación y extracción de humos, limpieza de los locales...) requieren menos tiempo de presencia de los trabajadores.

- Los operarios ocupados en la limpieza de vehículos permanecen en esta actividad una media de 10 años; mucho menos que en las demás actividades, debido al carácter poco cualificado y precario de esta actividad.

Se estima que aproximadamente 8.000 personas se ocupan de las tareas de explotación; alrededor de 3.000, de las operaciones de mantenimiento y conservación; y aproximadamente 700 de la limpieza de vehículos.

Del análisis de las actividades profesionales realizadas en los aparcamientos cubiertos se deduce lo siguiente:

La explotación del aparcamiento incluye diversas tareas: (control de entradas y salidas, cobro, asistencia e información, vaciado de contenedores, control de las intervenciones de mantenimiento, seguimiento y coordinación de las empresas externas, vigilancia y recuento de vehículos, vigilancia de incendios, etc.). Esto requiere a veces una presencia continua del personal). Los trabajadores de esta sección pasan aproximadamente el 50% de su tiempo de trabajo en las dependencias de recepción, el 25% en zonas de circulación peatonal, y el 25% en las zonas de circulación de vehículos y en las dependencias técnicas.

El mantenimiento eléctrico de los aparcamientos cubiertos incluye la verificación regular de los grupos electrógenos, y el mantenimiento periódico de la iluminación y de los sistemas de seguridad. Aproximadamente las tres cuartas partes de la duración de sus intervenciones tienen lugar en las zonas de circulación de vehículos o en las dependencias técnicas. Estos trabajadores están expuestos a los riesgos asociados a la atmósfera del aparcamiento. Los factores que contribuyen a su exposición son su presencia en las zonas de circulación, y las posturas que se ven obligados a adoptar, que pueden requerir un esfuerzo estático.

La limpieza de vehículos es efectuada principalmente por empresas muy pequeñas ubicadas

en la proximidad inmediata de la zona de circulación de vehículos de los aparcamientos. Estos trabajadores están particularmente expuestos por su presencia en las zonas de circulación durante la casi totalidad de su jornada, y las posturas que se ven obligados a adoptar. Sin embargo, su exposición a largo plazo se ve limitada por la duración generalmente corta de sus intervenciones, ya que no están todo el tiempo lavando coches.

conservación de la ventilación y de los equipos de captación y evacuación de humos, limpieza del aparcamiento, limpieza de vehículos.

Los riesgos ligados a la exposición aguda también fueron evaluados para estos trabajadores a partir de los niveles máximos de concentraciones de contaminantes medidos en el aire de los aparcamientos cubiertos.



El alquiler de vehículos es a menudo gestionado por empresas privadas que disponen de un local dentro del aparcamiento. Las tareas de limpieza y mantenimiento de los vehículos de alquiler son las más expuestas. Sin embargo, en general, el tiempo pasado en las zonas de circulación por el personal de esta sección se limita a un 15% de su jornada laboral.

La mayoría de los operarios de los aparcamientos consideran la zona de circulación de vehículos como un lugar de trabajo normal y no les preocupa su exposición a los posibles contaminantes presentes. El análisis de las actividades ha puesto de manifiesto que no existe, por parte de las empresas, ninguna estrategia de protección de los trabajadores contra los contaminantes presentes en la atmósfera del aparcamiento.

Los riesgos para la salud ligados a la exposición crónica a contaminantes químicos en el aire de los aparcamientos se evaluaron para niveles y duraciones de exposición moderadas y elevadas, de los trabajadores que ejercen regularmente las actividades siguientes: explotación del aparcamiento, mantenimiento y conservación de las barreras e instalaciones de peaje, mantenimiento y

Los resultados muestran que el conjunto de las actividades profesionales estudiadas conllevan riesgos notables para la salud relacionados con la contaminación química del aire ambiente (a excepción de la actividad de mantenimiento y conservación de las barreras y equipos de peaje).

Los riesgos ligados a la exposición aguda se deben principalmente al monóxido de carbono (riesgo de hipoxia) y al dióxido de nitrógeno (riesgo de efectos tóxicos sobre el aparato respiratorio, en particular para los asmáticos).

Los riesgos relacionados a la exposición crónica son principalmente debidos al benceno (riesgo de leucemia) y al dióxido de nitrógeno, y en segundo lugar a las partículas PM_{10} (riesgo de efectos tóxicos sobre los sistemas respiratorio y cardiovascular) y al formaldehído (riesgo de irritaciones oculares y nasales).

La explotación del aparcamiento y la limpieza de vehículos, que requieren tiempos de presencia, y por lo tanto de exposición, más elevados, son las más preocupantes en términos de exposición de los trabajadores a los contaminantes.

En cuanto a las actividades de mantenimiento y conservación del aparcamiento y sus instalaciones, la exposición es variable, ya que las intervenciones de estos operarios son a menudo intermitentes.

Las recomendaciones preventivas que la ANSES propone son las siguientes:

1. Evaluar y mejorar la calidad del aire.

- Aplicando las recomendaciones para la calidad del aire en los aparcamientos cubiertos recogidas en el dictamen de la AFSSET del 20 de abril de 2007, respetando en particular los valores límites propuestos para el monóxido de nitrógeno.
- Implantando medidas técnicas para mejorar la calidad del aire y reducir la exposición de los trabajadores.

2. Cuando no se pueda garantizar una calidad del aire satisfactoria.

- **No autorizar las actividades que no sean indispensables** para la función de aparcamiento de vehículos, y que impliquen la presencia de trabajadores en niveles subterráneos o en plantas que no tengan aberturas al exterior. Lo mismo cabe decir de las actividades que impliquen la presencia prolongada y frecuente de los trabajadores fuera de los locales equipados con ventilación forzada independiente.
- **Reducir tanto como sea posible la exposición de los trabajadores** durante el desarrollo de las actividades indispensables para la función de aparcamiento de vehículos (control de entradas y salidas, vigilancia, mantenimiento).
 - Limitando la duración de su presencia a lo estrictamente necesario en niveles subterráneos y en plantas que no tengan aberturas al exterior, y limitando su permanencia fuera de las dependencias equipadas con ventilación forzada independiente.
 - Favoreciendo su estancia en las zonas donde la calidad del aire sea más satisfactoria (locales equipados con ventilación específica, vías peatonales señalizadas...).
 - Teniendo en cuenta la calidad del aire durante la implantación o modificación de los puestos de trabajo, ya sea en el momento del diseño de nuevos aparcamientos o durante la remodelación de los ya existentes.

- **Vigilar el estricto respeto de la reglamentación** en materia de evaluación y gestión del riesgo químico en el ámbito profesional.

- **Revisar los valores límite de exposición profesional (VLEP)** del benceno, del dióxido de nitrógeno, y del monóxido de carbono.

En un anexo, este artículo expone varios ejemplos de soluciones para mejorar la calidad del aire y la reducción de la exposición de los trabajadores, como por ejemplo:

- **Ajustar el caudal y la velocidad de la ventilación** a las concentraciones de los contaminantes. Los actuales sistemas de ventilación están equipados con velocidad variable lo que permite una ventilación proporcional a las concentraciones medidas.
- **Mejorar el control de las concentraciones de contaminantes**, por ejemplo mediante sistemas de ventilación de doble flujo multidireccional.
- **Mejorar la calidad del aire** insuflando suficiente aire fresco en las zonas más frecuentadas por las personas (hall de ascensores, zonas peatonales, etc.).
- **Reducir el impacto de las emisiones** sobre la calidad del aire mediante la combinación de un sistema de ventilación y otro de extracción a nivel de los tubos de escape en las zonas de altas emisiones (rampas y zonas de circulación, puntos de estacionamiento, etc.).
- **Reducir la exposición de los trabajadores** utilizando sistemas automatizados que permitan limitar su presencia en las zonas más contaminadas.
- **Reducir las emisiones de los vehículos** optimizando la circulación, a fin de evitar la congestión de tráfico.
- **Asegurar la eficacia de la ventilación** en las dependencias de trabajo equipadas con ventilación forzada independiente.
- **Desarrollar una norma de control de la calidad del aire** en los aparcamientos cubiertos.
- **Por último y muy importante:** Integrar en todo proyecto de diseño o modificación de un aparcamiento cubierto un plan de gestión de la calidad del aire.

Anexo 6. Jacobson, T. A., Kler, J. S., Hernke, M. T., Braun, R. K., & Funk, K. C. (2019). *Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0323-1>

Artículo de revisión | Publicado:08 julio 2019

Riesgos directos para la salud humana derivados del aumento del dióxido de carbono atmosférico

[Tyler A. Jacobson](#), [Jasdeep S. Kler](#), [Michael T. Hernke](#) , [Rudolf K. Braun](#), [Keith C. Meyer](#) y [Guillermo E. Funk](#)

[Naturaleza Sostenibilidad](#) 2, 691–701 (2019) | [Citar este artículo](#)

6997 Accesos | 204 citas | 239 Altmetric | [Métrica](#)

Abstracto

La creciente evidencia sugiere que las elevaciones ambientalmente relevantes en CO₂ (<5,000 ppm) pueden presentar riesgos directos para la salud humana. El aumento de las concentraciones atmosféricas de CO₂ podría hacer que las exposiciones adversas sean más frecuentes y prolongadas a través de aumentos en las concentraciones del aire interior y un mayor tiempo de permanencia en el interior. Revisamos la evidencia preliminar sobre los riesgos potenciales para la salud de la exposición crónica a elevaciones ambientalmente relevantes en el CO₂ ambiental, incluida la inflamación, la reducción de las capacidades cognitivas de alto nivel, la desmineralización ósea, la calcificación renal, el estrés oxidativo y la disfunción endotelial. Esta evidencia temprana indica riesgos potenciales para la salud en CO₂ exposiciones tan bajas como 1,000 ppm, un umbral que ya se supera en muchos ambientes interiores con mayor ocupación de habitaciones y tasas reducidas de ventilación de edificios, y equivalente a algunas estimaciones para concentraciones de aire exterior urbano antes de 2100. La exposición continua al aumento de CO₂ atmosférico podría ser un estresor pasado por alto del entorno moderno y/o futuro. Se necesita más investigación para cuantificar las principales fuentes de exposición al CO₂, para identificar estrategias de mitigación para evitar efectos adversos para la salud y proteger a las poblaciones vulnerables, y para comprender completamente los efectos potenciales para la salud de la exposición crónica o intermitente al aire interior con concentraciones más altas de CO₂.

Anexo 7. Altamirano, C. (2017). *Determinación de benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX) en aire ambiente del Distrito Metropolitano de Quito mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama*. Obtenido de [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13799/Determinaci%
c3%b3n%20de%20BTEX%20en%20aire%20ambiente%20del%20DMQ%20por%20cromatogr%
afia%20de%20gases%20FID-%20Camila%20Altamirano.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13799/Determinaci%c3%b3n%20de%20BTEX%20en%20aire%20ambiente%20del%20DMQ%20por%20cromatogr%20afia%20de%20gases%20FID-%20Camila%20Altamirano.pdf?sequence=1&isAllowed=y) 3-4

INTRODUCCIÓN

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs), están constituidos fundamentalmente por carbono y su característica principal es la facilidad de pasar a estado gaseoso debido a que su presión de vapor es baja a 20 °C (Sánchez y Alcántara, 2008). Además, son compuestos que participan en las reacciones fotoquímicas en la atmósfera y que con los óxidos de nitrógeno en presencia de calor y luz solar producen smog fotoquímico (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1998).

Se denomina smog fotoquímico a la contaminación del aire originado por la mezcla de contaminantes de origen primario (óxidos de nitrógeno, hidrocarburos volátiles) con contaminantes secundarios (ozono, radicales, etc.). Los contaminantes secundarios son originados cuando la luz solar incide sobre los contaminantes primarios (Sánchez y Alcántara, 2008). La manifestación del smog es la formación de una neblina amarillenta-grisácea, aerosol de baja humedad y un olor desagradable por la presencia de algunos compuestos gaseosos (Delgado, 2005).

Los compuestos orgánicos volátiles presentes en el aire pueden provenir de fuentes naturales como bosques, zonas húmedas, animales rumiantes, etc., o de fuentes antropogénicas como industria automotriz, uso doméstico o industrial de pinturas y solventes y de reservas de hidrocarburos, donde la fuente antropogénica es la que más aporta a la contaminación del ambiente (Vernier, 1998).

Los principales representantes de los compuestos orgánicos volátiles son los BTEX, benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos, los que se caracterizan por encontrarse en estado gaseoso a temperatura ambiente y por ser insolubles en agua pero solubles en otras sustancias (Ramírez, 2012). Estos compuestos se encuentran en la clasificación de contaminantes peligrosos del aire en la escala nacional de sustancias tóxicas del aire de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica, debido a que estudios han demostrado que algunos compuestos son cancerígenos o posibles carcinógenos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica, 2016).

En Ecuador, el 76% de la contaminación atmosférica actual proviene del parque automotor, 5% de industria, 4% de generación eléctrica y 15% de fuentes naturales, por lo que el monitoreo continuo es necesario, más aún en el Distrito Metropolitano de Quito, debido a las condiciones geográficas que posee, donde la altura a la que se encuentra la ciudad provoca una menor cantidad de oxígeno, generando que la combustión sea incompleta. Además, las condiciones geográficas que sufre la ciudad al estar rodeada de montañas de la cordillera occidental, provocan que la ventilación sea limitada y como consecuencia, la contaminación se ve atrapada (Marcillo, 2010).

Por esta razón, se han establecido diferentes métodos de control para cuantificar estos contaminantes, donde la técnica de análisis químico más usada es desorción térmica acoplada a cromatografía de gases y detección por espectrofotometría de masas (DT-CG-EM). Sin embargo, la técnica resulta ser costosa, por lo que se han desarrollado nuevas de menor costo, dentro de las cuales se encuentra la cromatografía de gases con detección de ionización de llama. El análisis puede desarrollarse in situ mediante uso de bombas de succión, o por captación pasiva donde se usan captadores multilecho (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2013).

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo principal de este estudio fue cuantificar benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX) en aire en el Distrito Metropolitano de Quito mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama (FID) con el fin de determinar la calidad del aire ambiente.

OBJETIVO GENERAL:

Determinar benceno, tolueno, etilbenceno, *m/p*-xileno y *o*-xileno (BTEX) en aire ambiente del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) mediante cromatografía de gases con detector de ionización de llama.

Anexo 8. Sánchez, L., Fabela, M., & Flores, O. (2019). *Revisión de la normativa internacional sobre los límites de emisiones contaminantes de vehículos de carretera.* Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt562.pdf> 4 - 13

Revisión de la normativa internacional sobre límites de emisiones contaminantes de vehículos de carretera

En 1938, la empresa alemana Volkswagen presentó el VW Beetle de 17,3 kW, 3000 RPM y una velocidad máxima de 100 km/h.

En 1966, se desarrolló el primer sistema de inyección electrónica de combustible del fabricante Bosch, llamado D-Jetronic. La inyección de combustible se hacía mediante unos inyectores electromagnéticos accionados directamente por la centralita o unidad de control (ECU).

En 1985, aparece el primer catalizador catalítico diseñado para funcionar en combinación con el control de mezcla de ciclo cerrado, diseñado para usarse con combustible sin plomo.

La evolución tecnológica de los vehículos se enfocó desde sus inicios en conseguir que éstos fueran capaces de desarrollar mayores velocidades. Consecuentemente, hubo un aumento de los riesgos por accidentes, así como aumento de las emisiones provenientes de los vehículos (Bosch Automotive Professional, 2015).

1.2 Historia del control de emisiones vehiculares

Al inicio del impulso de la industria automotriz no se consideró la peligrosidad que implica la generación de las emisiones que se producen por la combustión de los motores de los vehículos. Todo comenzó en la década de 1950 en Los Ángeles, California, en los Estados Unidos de América, cuando se incrementó la compra de vehículos para uso privado, donde las emisiones de los automóviles fueron un importante contribuyente a la contaminación del aire urbano. Los estándares de emisión de gases de escape para automóviles nuevos se establecieron por primera vez en 1968 (1965 en California) y, a partir de entonces, cada dos años los criterios de emisiones provenientes de la combustión se hicieron más estrictos hasta principios de los años ochenta. Estas condiciones llevaron a los fabricantes de motores a enfrentar continuamente grandes retos tecnológicos que les permitieran ajustarse a la legislación anticontaminante., lo que ha logrado incluir parámetros fundamentales en la evaluación del desempeño de los motores.

En los años 80, el parque vehicular estaba compuesto, en su mayoría, por vehículos de gasolina debido a la simplicidad tecnológica (encendido por chispa). Hasta esa fecha, el sistema de alimentación de combustible se basaba en la inyección mecánica, conocida como carburación, ya que los carburadores tenían la función de mezclar la gasolina con el aire para introducirla posteriormente en la cámara de combustión. Puesto que a finales de la década de los 80s y principios de los 90s se habían establecido estándares mucho más estrictos, especialmente en los Estados Unidos y Europa, la estrategia adoptada para minimizar el "smog" fue utilizar componentes electrónicos con el fin de conseguir un mayor control sobre el combustible. Los coches de gasolina se fabricaban con la admisión de combustible de inyección electrónica que, junto a una unidad de control del motor (ECU, por sus siglas en inglés), calculaba los parámetros necesarios para administrar la cantidad justa y necesaria de combustible a la cámara de combustión a través de inyectores. Con esa tecnología se alcanzó una reducción importante en las emisiones de

hidrocarburos (HC) sin quemar, aunque con reducciones menores en óxidos de nitrógeno (NO_x). La estrategia fue elegida en parte por la evaluación de la reacción fotoquímica de smog a los cambios en los HC y NO_x, además de la viabilidad técnica de reducir los HC respecto a los NO_x. Los estándares de emisiones para motores en vehículos de gasolina y diésel se han actualizado de manera constante, siendo más estrictos cada vez. Sobre esas fechas empezaba la moda diésel, un combustible que solo se usaba en vehículos pesados y que, debido a su bajo precio (la mitad que la gasolina) y mínimo consumo, suponía un gran atractivo para los compradores de coches nuevos (Academic Press, 1998).

1.3 Contaminación y calidad del aire

El aire respirable está conformado aproximadamente del 78% de nitrógeno (N₂), 21% de oxígeno (O₂) y el restante 1% de pequeñas porciones de vapor de agua, dióxido de carbono y otros gases. Sin embargo, actividades humanas como la industrial, la doméstica, la comercial y el uso masivo del transporte, ocasionan la emisión de gases, humos, polvos y partículas que alteran su composición y provocan su contaminación, que además tienen serios impactos en el ambiente y en la salud de las personas, de los animales e incluso de la vegetación.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recurso Naturales (SEMARNAT), define la contaminación del aire como cualquier sustancia en él que, en alta concentración, puede dañar al hombre, animales, vegetales o materiales. Puede incluir casi cualquier compuesto natural o artificial de materia flotante susceptible de ser transportado por el aire. Estos contaminantes se encuentran en forma de partículas sólidas, gotas líquidas, gases o combinadas. Generalmente se clasifican en los emitidos directamente por la fuente contaminante, contaminantes primarios, y los secundarios, producidos en el aire por la interacción de dos o más contaminantes primarios o por la reacción con los compuestos normales de la atmósfera (SEMARNAT, 2017). La necesidad de los gobiernos locales y de la sociedad de establecer políticas de calidad del aire que limitan las concentraciones máximas permisibles de contaminantes, están dirigidas generalmente a proteger, en sentido amplio, la salud de las personas y los ecosistemas.

La presencia de contaminantes en la atmósfera puede, en algunos casos, percibirse con facilidad, particularmente por la reducción de la visibilidad en las grandes ciudades. Sin embargo, más allá de la percepción cualitativa, es necesario conocer cuantitativamente las concentraciones de los contaminantes que afectan la salud humana y el medio ambiente, como una medida de la calidad del aire que se tiene en determinada región.

Atendiendo a dicha necesidad, varias dependencias gubernamentales, entre ellas la SEMARNAT y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), realizan estudios y análisis de la calidad del aire en México. Una de sus emisiones es el Informe Nacional de Calidad del Aire a nivel de zona metropolitana y ciudad de México, con calificación de la calidad de aire como buena, regular o mala. Así mismo, permite conocer información detallada y actualizada sobre los límites

normados vigentes para cada contaminante según criterios en México, Estados Unidos y la Unión Europea, además de las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (INECC, 2017).

1.4 Tipos de emisiones contaminantes en la atmósfera

La emisión es definida como la descarga directa o indirecta a la atmósfera de toda sustancia o energía, incluyendo, pero no limitándose, a olores, partículas, vapores, gases o cualquiera de sus combinaciones. También se refiere a la descarga de contaminantes a la atmósfera provenientes de chimeneas y otros conductos de escape de las áreas industriales, comerciales y residenciales, así como de los vehículos automotores, locomotoras o escapes de aeronaves y barcos (SEMARNAT, 2017).

Se denominan gases contaminantes primarios a aquellos que se emiten directamente a la atmósfera como resultado de un proceso de combustión. Estos pueden ser:

- Óxidos de azufre (SO_x). Se forman por la combustión del azufre presente en el carbón y el petróleo. Los SO_x forman con la humedad ambiente aerosoles, incrementando el poder corrosivo de la atmósfera, disminuyendo la visibilidad y provocando la lluvia ácida.
- Monóxido de carbono (CO). Es el contaminante más abundante en la capa inferior de la atmósfera. Se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono. Es un gas inestable que se oxida generando dióxido de carbono (CO₂). Alrededor del 70 por ciento del CO provienen de los vehículos.
- Óxidos de nitrógeno (NO_x). Se producen en la combustión de productos fósiles, destacando los vehículos, carbón y quemas de madera. La producción de fertilizantes y explosivos, tabaco y calderas generan emisiones importantes de NO_x. El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) requieren especial atención. El NO se oxida formando NO₂, mientras que el NO₂ es precursor del smog fotoquímico.
- Partículas. Es material respirable presente en la atmósfera en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras). De acuerdo con su tamaño se pueden dividir en dos grupos principales: las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 µm (PM₁₀) y las de fracción respirable más pequeña (PM_{2.5}).
- Hidrocarburos (HC). Las emisiones de HC están asociadas a la mala combustión de derivados del petróleo. Las fuentes más importantes de emisión son el transporte por carretera, los disolventes, pinturas, vertederos y la producción de energía. Los de mayor interés son los compuestos

orgánicos volátiles (COV), dioxinas, furanos, bifenilos policlorados (PCB) y los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH).

Se denominan gases contaminantes secundarios aquellos que, una vez lanzados a la atmósfera, pueden reaccionar con otros contaminantes con igual toxicidad, como son:

- Ozono (O₃). El ozono en particular es un contaminante que se forma por acción de la luz solar y las reacciones fotoquímicas que involucran a los compuestos orgánicos volátiles (compuestos orgánicos que contienen carbón combinado con otros elementos, comúnmente hidrógeno, oxígeno y nitrógeno) y los óxidos de nitrógeno, provenientes en un alto porcentaje de los automotores. El ozono forma parte de la composición de la atmósfera; sin embargo, a baja altura (O₃ troposférico) resulta perjudicial por su carácter oxidante, reactivo, corrosivo y tóxico, por lo que reacciona con rapidez generando compuestos secundarios.
- Lluvia ácida. Es el término que se ha usado para describir el proceso por el cual ciertos ácidos se forman en la atmósfera a partir de contaminantes y luego se precipitan a la tierra. El SO₂ (dióxido de azufre) y los NO_x, causan la lluvia ácida. Estas sustancias en presencia de agua, O₂ y otros compuestos químicos, forman ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido nítrico (HNO₃) respectivamente, que se precipitan a la tierra en forma líquida cuando se presentan lluvias o en forma seca en presencia de nevadas o neblinas. El pH de la lluvia normal es de alrededor de 6, mientras que la lluvia ácida presenta un pH menor a 5.
- Contaminación fotoquímica. La constituyen la luz solar y sustancias susceptibles de ser oxidadas. El smog fotoquímico es una mezcla de contaminantes que se forman por reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los contaminantes primarios, como son los óxidos de nitrógeno y compuestos volátiles procedentes del escape de los vehículos. (SEMARNAT, 2013)

1.4.1 Clasificación de los gases que provocan la contaminación del aire

La problemática de la contaminación del aire se ha convertido en problema a nivel mundial, lo que ha causado problemas de salud a la población y a los ecosistemas, como la destrucción de la capa de ozono, el efecto invernadero y el cambio climático. De los diversos contaminantes, se presenta a continuación cada uno con su efecto en la sociedad:

Contaminantes criterio: Son los que afectan a la salud humana y los ecosistemas, tales como Dióxido de Azufre (SO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}), Monóxido de Carbono (CO) y Plomo (Pb), (SEMARNAT, 2017).

Contaminantes de vida corta: Son compuestos que permanecen por un tiempo relativamente corto en la atmósfera, desde un par de días hasta unas décadas, que tienen un efecto de calentamiento, a corto plazo, sobre el clima. Generan millones de pérdidas anuales de toneladas de cosechas al año y producen efectos nocivos en la salud humana y la de los ecosistemas. Los principales causantes son el Ozono troposférico (O₃), Carbón Negro (CN), Metano (CH₄) y los Hidrofluorocarbonos (HFC).

Contaminantes de efecto invernadero: Son los que reciben su nombre porque provocan el efecto invernadero. De manera semejante en que las paredes de vidrio elevan la temperatura interior de los invernaderos, del mismo modo éstos conducen al aumento de la temperatura de la tierra al interactuar con la energía que proviene del sol.

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), define a los gases de efecto invernadero como el componente gaseoso de la atmósfera, ya sea de origen natural o antropogénico, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad da lugar al efecto invernadero.

Los principales gases responsables del efecto invernadero natural son:

- El bióxido de carbono (CO₂) generado a partir de cualquier combustión, puede ser de la respiración de los seres vivos, la descomposición de la materia orgánica muerta, los incendios naturales
- El metano (CH₄) emitido por los humedales y los rumiantes durante su proceso digestivo
- El óxido nitroso (N₂O) producido por la descomposición bacteriana de la materia orgánica
- El ozono (O₃) cuando resulta de la unión natural de tres átomos de oxígeno
- El vapor de agua (H₂O) producido por la evaporación del agua

Después del bióxido de carbono (CO₂), los más importantes contribuyentes al calentamiento global actual son los contaminantes climáticos de vida corta: el metano (CH₄), el carbono negro (CN) y el ozono troposférico (O₃), (INECC, 2018).

1.4.2 Efectos de los gases contaminantes en el ser humano

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo. Se estima que la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas

rurales, fue causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año. Esta mortalidad se debe a la exposición a partículas pequeñas de 2,5 micrones o menos de diámetro (PM_{2.5}), que producen enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer. La OMS estima que, en 2016, aproximadamente el 58% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica se debió a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, mientras que el 18% de las muertes tuvo como causas la enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones respiratorias agudas. El 6% de las muertes se debió al cáncer de pulmón.

Algunas muertes pueden atribuirse a más de un factor de riesgo al mismo tiempo. Por ejemplo, tanto el consumo de tabaco como la contaminación del aire ambiente pueden provocar cáncer de pulmón. Algunas de las muertes por este padecimiento podrían haberse evitado con la mejora de la calidad del aire ambiente o con la reducción del consumo de tabaco. Una evaluación de 2013 realizada por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS, determinó que la contaminación del aire exterior es carcinógena para el ser humano y que las partículas del aire contaminado están estrechamente relacionadas con la creciente incidencia del cáncer, especialmente el cáncer de pulmón. También se ha observado una relación entre la contaminación del aire exterior y el aumento del cáncer de vías urinarias y vejiga. Por tanto, existen numerosos ejemplos de políticas relativas a los sectores que permiten reducir la contaminación del aire: (Organización Mundial de la Salud, 2018):

- Industria
- Energía
- Transporte
- Planificación urbana
- Generación de electricidad
- Gestión de desechos municipales y agrícolas

Los principales contaminantes que afectan a la salud humana y a los ecosistemas son denominados contaminantes criterio. Emisiones provenientes de los vehículos automotores contribuyen en el deterioro de la salud, como resultado de la exposición al ozono troposférico, monóxido de carbono, las partículas y compuestos tóxicos en el aire. El efecto de los gases contaminantes criterio en la salud humana pueden ser como sigue:

Dióxido de azufre (SO₂): Irrita las vías respiratorias. En altas concentraciones puede provocar bronquitis y traqueítis.

Monóxido de carbono (CO): En altas concentraciones inhabilita el transporte de oxígeno hacia las células. Si se expone prolongadamente puede provocar mareo, dolor de cabeza, inconciencia e, incluso, la muerte.

Dióxido de Nitrógeno (NO₂): Irrita las vías respiratorias. En altas concentraciones puede provocar bronquitis y neumonía.

Ozono (O₃): Irrita las vías respiratorias. En altas concentraciones reduce la función pulmonar, empeora el asma, inflama las células que recubren los pulmones y empeora enfermedades pulmonares crónicas.

Partículas PM₁₀: Agravan el asma y enfermedades respiratorias cardiovasculares. Su exposición crónica en altas concentraciones puede provocar un incremento en el riesgo de morbilidad y mortalidad.

Partículas PM_{2.5}: Agravan el asma, reducen la función pulmonar y se asocian con el desarrollo de diabetes. Pueden ocasionar disminución en el tamaño del feto.

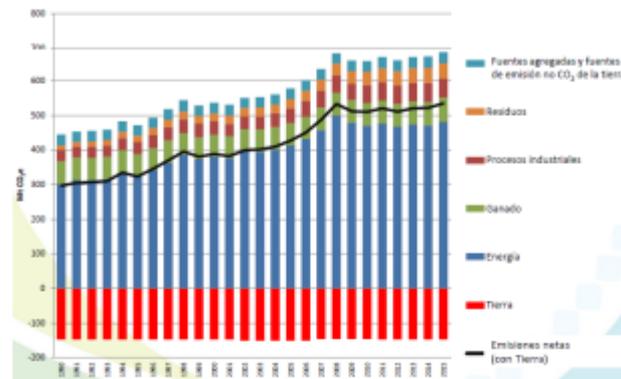
Smog fotoquímico: Reduce la visibilidad, irritando los ojos y el aparato respiratorio; puede causar cáncer de pulmón en la misma medida, incluso mayor, que lo puede hacer el fumar. El smog también afecta a árboles y cultivos (SEMARNAT, 2013).

1.5 Registro de emisiones de gases de efecto invernadero

El incremento de población y de las actividades humanas ha tenido un fuerte impacto en la calidad de aire debido a las emisiones al medio ambiente, constituyendo un problema a nivel mundial que, en México, se ha incrementado significativamente a través de los años. El INECC analiza el incremento de las emisiones y ha presentado información de las tendencias por sector y por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

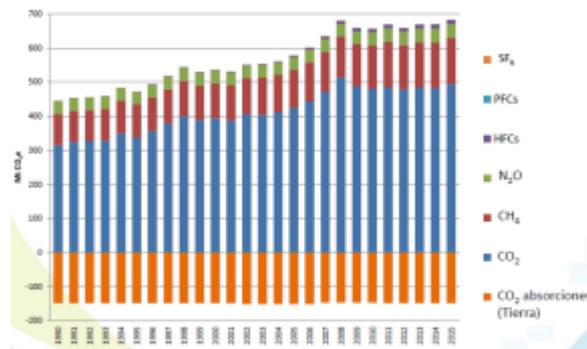
En la Figura 1.1 se presenta la tabla de la tendencia de las emisiones por sector, mientras que en la Figura 1.2 se muestra por tipo de GEI, de 1990 a 2015. Los sectores son Energía, Ganado, Procesos industriales, Residuos y Fuentes agregadas de emisión no CO₂ de la tierra y las emisiones en la tierra, es decir, las emisiones que absorbe la tierra. En ambas tablas se expresan los resultados en megatoneladas (Mt) de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), lo que se refiere a la unidad de medición usada para indicar el potencial de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero respecto al dióxido de carbono.

Respecto a la primera tabla se muestra que el sector que más emite es el de Energía, pues en el año 2015 se registraron 683 Mt de GEI, el sector energía contribuyó con el 70%, seguido por el Ganado con un 10%, Procesos industriales con el 8%, Residuos con 7% y Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO₂ de la tierra con 5%. En ese año, se emitió el 71% de dióxido de carbono (CO₂), el 21% de metano (CH₄), el 6% de óxido nítrico (N₂O), el 1,8% de hidrofluorocarbonos y menos del 1% de hexafluoruro de azufre (SF₆), (INECC, 2018).



Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018)

Figura 1.1 Emisiones por sector en México

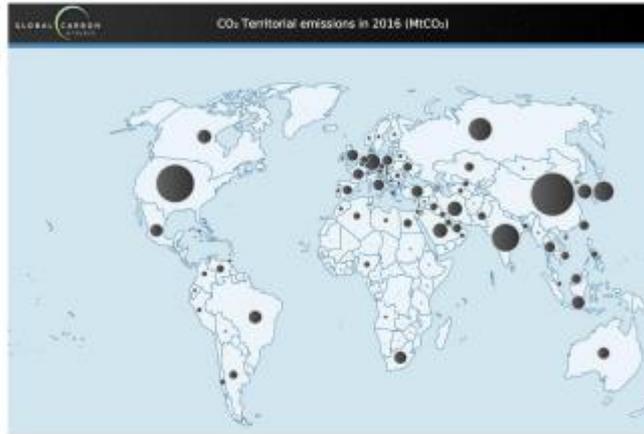


Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018)

Figura 1.2 Tendencia de las emisiones por tipo de gas

Para conocer las emisiones en cada país se utilizó la plataforma web del Atlas del Carbono Global (*Global Carbon Atlas*), que presenta el banco de datos y realiza la divulgación de las emisiones de carbono en el desarrollo humano a nivel mundial. El Atlas ilustra y presenta los datos de las emisiones de bióxido de carbono

producidas por la quema de combustibles fósiles, la producción de cemento y cambios en los usos del suelo sobre múltiples décadas. La información está disponible a nivel global, regional y nacional con herramientas que permiten comparar, clasificar y visualizar los cambios a través del tiempo. La última información presentada fue para el 2016, que se representa en la Figura 1.3 a través de un mapa que esquematiza la producción de CO₂ por país, generando un total de 36183 Mt.



Fuente: Global Carbon (Global Carbon Atlas, 2017)

Figura 1.3 Producción de bióxido de carbono por país

En la Tabla 1.1 se enlistan los 30 primeros países que generan CO₂, expresado los resultados en MtCO₂, según el Atlas del Carbón Global, (*Global Carbon Atlas*, 2017).

Tabla 1.1 Emisiones de CO₂ emitidas por país

No.	País	MtCO ₂	No.	País	MtCO ₂
1	China	9839	16	Australia	413
2	Estados Unidos de América	5270	17	Reino Unido	385
3	India	2467	18	Francia	356
4	Rusia	1693	19	Italia	356
5	Japón	1205	20	Tailandia	331
6	Alemania	799	21	Polonia	327
7	Irán	672	2	Kazajistán	293
8	Arabia Saudita	635	23	España	281
9	Corea del Sur	616	24	Taiwán	272
10	Canadá	573	25	Malasia	255
11	México	490	26	Emiratos Árabes	232
12	Indonesia	487	27	Egipto	219
13	Brasil	476	28	Ucrania	212
14	Sur África	456	29	Argentina	204
15	Turquía	448	30	Vietnam	199

Fuente: Global Carbon (Global Carbon Atlas, 2017)

1.6 Parque vehicular en México

Un fenómeno importante que ha tenido México es su crecimiento poblacional, siendo un total de 119,938,473 hasta el año 2015, lo que incrementó la actividad industrial y el parque vehicular. Este último alcanzó los 45,476,133 unidades vehiculares registradas en circulación hasta 2017, según lo reportado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), como se aprecia en la Figura 1.4. Del total de vehículos automotores registrados el 67% corresponde a automóviles, el 24% a camiones y camionetas de carga, el 8% a motociclistas y el 1% a camiones para pasajeros.

El incremento de vehículos en circulación, aunque contribuye al crecimiento económico del país, ha producido también mayor contaminación al medio ambiente, principalmente al agua, el suelo y la atmósfera, constituyendo un grave problema de riesgo de salud y daño ambiental que enfrenta la sociedad actualmente. Este problema incrementa por el rápido aumento del parque vehicular, la actividad industrial y la prestación de servicios que demandan, en conjunto, grandes cantidades de energía proveniente de combustibles fósiles, generando, en consecuencia, un volumen importante de emisiones de efecto invernadero y contaminantes. En este contexto, otro indicador particular de la posible evolución en la calidad del aire lo constituye el consumo de energéticos acotados a una determinada región (INEGI, 2018).

OPEN

Indoor air formaldehyde (HCHO) pollution of urban coach cabins

Daocong Qin¹, Bing Guo², Jian Zhou¹, Heming Cheng^{3,4} & Xiaokai Chen^{5*}

Urban coach cabin is an important indoor environment for long journey, formaldehyde (HCHO) is a carcinogenic gas and damages indoor air quality of cabins. In order to control the HCHO pollution, the air samples inside cabins were analysed with a thermally desorbed gas chromatograph, and the HCHO diffusion was simulated with a methodology of computational fluid dynamics (CFD). Results show that through the experimental monitoring, the HCHO pollution level range from 33.6 to 142.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, decrease quickly with time, and the attenuation trendline is univariate cubic equation. Through the CFD simulation, the indoor temperature and HCHO level of cabin front and rear ends are higher than ones of other areas for the insufficient air supply and the unreasonable arrangement of air exhaust outlet. Moreover, through the CFD simulation, the HCHO level decreases with height growth of breathing zone and increasing air supply speed, and fresh air lead to diffusion of HCHO pollution from cabin seat area to the surrounding area. Through the CFD simulation, the HCHO pollution under the wind speeds of 3–5 m/s is higher than the HCHO limit level from indoor air standard of China vehicles, which shows that the HCHO emission of cabin seat has an important impact on airborne HCHO pollution inside vehicle cabins.

According to the year 2017 statistic bulletin of traffic industry development from the Transportation Ministry of China, the total of urban vehicles was 3.1×10^7 and the annual capacity of passengers transported by the vehicles was 7.2×10^{11} . For people often go working, shopping, traveling, school, home and lengthy commutes by driving or taking a vehicle such as a car, taxi, bus or coach, vehicle cabins have been recognized as important indoor environment, which result into indoor air quality (IAQ) and thermal comfort of vehicle cabins to be a hot research^{1–6}. However, vehicle cabins have presented airborne formaldehyde (HCHO) and volatile organic compounds (VOCs) pollution, which damage vehicle IAQ^{7–15}. For example, more than 280 VOCs¹⁶ were detected in the vehicle cabins and the maximum level of total VOCs was 6.90 mg/m³. Moreover, the HCHO pollution was relatively abundant in the coach cabins, and the HCHO highest level of 0.16 mg/m³ was observed on the 15th day after coming off the assembly line¹⁷. Except to pollute vehicle IAQ, the HCHO and VOCs pollution lead to the unacceptable health risks to passengers and drivers^{17–19}. In order to decrease the health risks, China government promulgated the hygienic standard for air quality inside long distance coach (GB/T 17729–2009) and the guideline for air quality assessment of passenger car (GB/T 27630–2011), with the HCHO limit levels of 0.12 and 0.10 mg/m³ respectively. However, the average/maximal HCHO levels in car cabins were 132.0/251.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, which were 1.10/2.10 and 1.32/2.52 times more than the HCHO limit levels of IAQ standards on China coaches (GB/T 17729–2009) and passenger cars (GB/T 27630–2011) respectively²⁰. The HCHO average level in taxi cabins was 1.0–1.4 mg/m³, which was 10–14 times higher than the HCHO limit level of China car IAQ standard (GB/T 27630–2011)²¹. So, there is a compelling need to initiate actions to reduce the HCHO pollution.

In order to control the HCHO pollution, the influencing factors of HCHO mass concentration were analyzed experimentally, and vehicle age, ventilation modes, cabin materials, air temperature and relative humidity did positively affect the HCHO concentration^{22–24}. For example, when the cabin indoor temperature was from 29 °C to 35 °C, the HCHO level was from 180.6–115.7 to 172.8–251.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively²⁵. The HCHO emission quantity (Q)²⁶ was generally related to cabin indoor temperature (T), and the logarithm of $Q \times T^{-1.08}$ was linear with T^{-1} . Moreover, compared with no ventilation, the fan ventilations introducing outside fresh air decreased 49.5% of the HCHO level, and the recirculation ventilation without outside fresh air increased 51.38%²⁷. Irrespective of engine and ventilation modes, the HCHO level inside cabins was significantly higher than one outside cabins, and the highest HCHO level was inside the mid-size car, followed inside compact car and large-size car²². In addition, the HCHO level in the vehicle cabin with leather trim was 1.42 times more than one in vehicle cabin with fabric

¹College of Civil Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650500, China. ²National Engineering Research Center of Waste Resource Recovery, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650093, China. *email: skchen@msn.com

trim²¹. Therefore, the experimental research shows that there are many factors affecting the HCHO pollution. In any case, the spatial distribution of HCHO pollution cannot be obtained by experimental monitoring, so the numerical simulation of HCHO pollution distribution needs to be analyzed.

Furthermore, the numerical simulation with computational fluid dynamics (CFD) has been used successfully to study the spatial and temporal distributions of cabin air temperature, air velocity and air pollution excluding HCHO^{22,23}, which are technically difficult to measure in real vehicle conditions. For example, the particulate matter level was influenced by the outside air penetrated into vehicle cabins through the operation of cabin doors and ventilation system, and the CO₂ level was elevated with increasing passengers in the vehicle cabin, which indicates that the cabin air pollutants were not diluted because of insufficient ventilation²⁴. Through the CFD simulation, the eddies were generated in the mid upper region and each side of the vehicle cabins, which is indicative of the highly turbulent nature of cabin air flow²⁵. Moreover, the ventilation modes, vent location and cabin seat arrangement affected the concentration distribution of cabin air pollution such as influenza, and the developed numerical model can provide insights into how the micro-environmental conditions affect cabin air pollution transmission²⁶. However, there is few reports about the numerical simulation of airborne HCHO pollution in vehicle cabins, and the less is known about the effect of different breathing zone (horizontal plane), air temperature and ventilation conditions on the HCHO pollution. The coach is a main mean of transportation between different cities, and the time spent in the coach cabin is long enough to drivers and passengers. Therefore, this study is done in order to confirm the concentration distribution and control technology of cabin indoor HCHO pollution.

Materials and Experimental Methods

Coaches and roads investigated. Kunming City is the capital of Yunnan Province in the southwest of China, and locates in a mild climate zone with small annual temperature difference. Lijiang City locates in the northwest of Yunnan Province, and belongs to the monsoon climate of low latitude and warm temperate plateau mountainous areas. In China, coaches are the most commonly used means of transportation for long-distance travel, and the traffic on city roads is heavy during the tourism-peak reason. Moreover, in December 2018, this study was carried out, and the driving road from Kunming to Lijiang is 517 km long or 10 hour driving distance of coach. The coach sampled was made in China, and has been running in a regular service with air condition system, gasoline fuel, leather decoration and 42 seats. The coach age, exhaust volume and total driving mileage were 2.5 years, 3.6 liters and 5.9×10^4 km respectively.

HCHO Sampling and analysis. According to China standard, the detect methods for air quality inside long distance coach (GB/T 27380-2012), the HCHO pollution was sampled by the air sampler (QC-2) with dual gas flow path and was analyzed by the gas chromatograph (GC-6890) with a flame ionization detector, a 2 m capillary column and a desorption instrument. When the HCHO samplings is in process, the coach windows, doors and vents are closed and smoking is prohibited. Through the air sampler and the adsorption tubes with 150 mg adsorbent impregnated by dinitrophenylhydrazine, the HCHO samples were collected in the center at 0.5 m above coach floor with a 0.5 L/min flow rate for 50 L. The HCHO samples were desorbed by the thermal desorption instrument within 5 days of collection, were separated into fractions by the capillary column, and then were analyzed by the flame ionization detector. The temperature of column oven is programmed from 50°C to 260°C, the temperature of injection port and flame ionization detector are 230°C and 260°C, and the flow velocity of N₂, H₂ and air are 70, 40 and 450 mL/min, respectively. Moreover, around the coach cabins sampled, the atmospheric pressure was measured with a barometer (DYM3-1), the temperature and relative humidity were measured with a temperature-humidity recorder (AR-807), and all experimental instruments are made in China. Finally, the HCHO pollution are identified and quantified by comparing the HCHO samples curve to the corresponding HCHO standard curve. The calculation formula for HCHO level is as follows:

$$c = \frac{B_s \times V_s \times (h - h_0)}{V_0 \times E_s}$$

where: c , cabin indoor HCHO level, mg/m³;

B_s , calculation factor from standard curve, $\mu\text{g}/(\text{mL} \cdot \text{mm})$;

E_s , average elution efficiency;

V_0 , total volume of eluent solution of sample, mL;

V_s , sample volume in standard condition, L;

h , mean value of peak height of sample solution, mm;

h_0 , mean value of peak height of blank solution, mm;

Quality control. Before the HCHO pollution sampling, the air sampler was calibrated by a soap film flow meter and all adsorption tubes were cleaned at least three times with high purity nitrogen. In the process of on-site sampling, two sampling tubes shall be left for non-sampling and treated as the blank sample. If the HCHO pollution in blank sample exceeds the HCHO limit level of national standard, all samples of on-site sampling shall be invalid. After sampling, the HCHO adsorption tubes were sealed with plastic end caps, placed in a sample box, and then transported to the GC-6890 laboratory. The detection limit of HCHO analyzing method is 0.01–1.0 mg/m³, and all HCHO sample concentrations are within the detection limit. Moreover, the HCHO standard solution, with purity of 98.5% and concentration of 1.0 mg/mL, is within the validity period and were obtained from the Institute for Reference Materials in Environmental Protection Ministry of China. The precisions of monitoring instrument for pressure, temperature and relative humidity are ± 0.1 kPa, ± 0.1 °C and $\pm 1.0\%$, respectively.

Anexo 10. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Formaldehído (Formaldehyde)*. Obtenido de http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs111.html 2-3

telas, artículos para el cuidado de zapatos, limpiadores de alfombras, pegamentos y adhesivos, barnices, papel, plásticos y en algunos productos de madera. Algunas personas están expuestas a niveles altos de formaldehído si viven en una casa móvil nueva, ya que los productos de madera que se usan en este tipo de casas emiten formaldehído.

El formaldehído se usa en muchas industrias. Entre éstas se incluyen la manufactura de abonos, papel, madera contrachapada y resinas de ureaformaldehído. El formaldehído se encuentra presente en el aire en fundiciones de hierro. También se usa en la manufactura de cosméticos y azúcar, en líquidos usados para excavar pozos en el suelo, como preservativo para cereales y semillas usadas como condimentos, en la producción de látex en la industria del caucho, en el curtido de cueros, para preservar madera y en la producción de cinta fotográfica. El formaldehído se combina con metanol y soluciones amortiguadoras para producir líquido para embalsamar. El formaldehído también se usa para preservar tejidos en muchos hospitales y laboratorios.

1.2 ¿Qué ocurre con el formaldehído cuando entra al medio ambiente?

La mayor parte del formaldehído al que usted se expone en el ambiente se encuentra en el aire. El formaldehído se disuelve fácilmente en agua, pero no permanece en el agua mucho tiempo y generalmente no se le detecta en suministros de agua potable. La mayor parte del formaldehído en el aire se degrada durante el día. Entre los productos de degradación del formaldehído en el aire están el ácido fórmico y el monóxido de carbono. El formaldehído no parece acumularse en plantas o animales y, aunque se encuentra en algunos alimentos, las cantidades que se encuentran son pequeñas.

1.3 ¿Cómo puede ocurrir la exposición al formaldehído?

Usted está expuesto a cantidades pequeñas de formaldehído en el aire. El formaldehído en el ambiente se origina tanto de fuentes naturales como de actividades humanas, pero la fuente principal es la combustión de materiales. Si usted vive en un área despoblada, puede estar expuesto a aproximadamente 0.2 partes por billón (ppb) de formaldehído en la atmósfera. En áreas suburbanas, puede estar expuesto a aproximadamente 2-6 ppb. Si usted vive en un área densamente poblada o cerca de ciertas industrias, puede estar expuesto a 10-20 ppb. Usted también puede estar expuesto a niveles altos de formaldehído durante períodos de tránsito intenso en áreas densamente pobladas ya que el formaldehído se produce en el escape de vehículos motorizados.

Generalmente se encuentra más formaldehído en el aire dentro de viviendas que al aire libre. Muchos productos del hogar emiten formaldehído al aire y usted puede inhalar formaldehído cuando usa estos productos. La pintura de látex y el barniz para las uñas liberan una gran cantidad de formaldehído al aire. La madera contrachapada y otros tipos de maderas laminadas, como también los muebles y armarios que se fabrican con éstas, los productos de fibra de vidrio, las alfombras nuevas, láminas decorativas, y algunas telas que no se arrugan emiten cantidades moderadas de formaldehído.

Algunos productos de papel, por ejemplo bolsas de almacén y toallas de papel, emiten cantidades pequeñas de formaldehído. Debido a que estos productos contienen formaldehído, usted también puede exponerse a través de contacto de la piel con estos artículos. Usted también puede exponerse a cantidades pequeñas de formaldehído en los alimentos que consume. Es improbable que se exponga al formaldehído en el agua que bebe porque esta sustancia no permanece mucho tiempo en el agua.

Hay muchos otros productos domésticos que contienen y emiten formaldehído, pero la cantidad que emiten no se ha determinado cuidadosamente. Entre estos productos se incluyen agentes para limpiar, desinfectantes, cosméticos, medicinas, suavizadores de telas, pegamentos, barnices y antisépticos. Usted también puede respirar formaldehído si usa calentadores de gasolina o kerosén en lugares cerrados o si usted u otra persona fuman cigarrillos o pipa dentro del hogar. La cantidad de formaldehído en casas móviles es generalmente más alto que en casas tradicionales debido a que el intercambio de aire es más lento en las casas móviles.

Las personas que trabajan en o cerca de plantas químicas que manufacturan o usan formaldehído pueden estar expuestas a cantidades de formaldehído más altas que lo normal. Los médicos, enfermeras, dentistas, médicos veterinarios, patólogos, embalsamadores, personas que trabajan en la industria de ropas o fábrica de muebles, y profesores y estudiantes que tienen contacto en laboratorios con especímenes que han sido preservados también pueden estar expuestos a cantidades más altas de formaldehído. El Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH) estima que 1,329,332 personas en Estados Unidos pueden haberse expuesto al formaldehído en el trabajo.

1.4 ¿Cómo entra y sale el formaldehído del cuerpo?

El formaldehído puede entrar a su cuerpo al usted respirarlo, ingerirlo o cuando entra en contacto con su piel. El formaldehído es absorbido rápidamente a través de la nariz y de la parte superior de las vías respiratorias. El formaldehído también se absorbe rápidamente cuando se ingiere. En cambio, solamente cantidades muy pequeñas se absorben a través de la piel.

Una vez dentro del cuerpo, el formaldehído es degradado rápidamente. Casi todos los tejidos del cuerpo tienen la capacidad para degradar formaldehído. Generalmente es convertido a una sustancia no tóxica llamada formato, que se excreta en la orina. El formaldehído también puede ser convertido a dióxido de carbono, el cual se elimina en el aliento. También puede ser degradado para que el cuerpo lo use para fabricar moléculas más grandes que necesitan los tejidos, o puede ligarse al ácido desoxirribonucleico (ADN) o a proteínas en el cuerpo. El formaldehído no se almacena en la grasa.

1.5 ¿Cómo puede afectar mi salud el formaldehído?

Los científicos usan una variedad de pruebas para proteger al público de los efectos perjudiciales de sustancias químicas tóxicas y para encontrar maneras para tratar a personas que han sido afectadas.

Una manera para determinar si una sustancia química perjudicará a una persona es averiguar como el cuerpo absorbe, usa y libera la sustancia. En el caso de algunas sustancias químicas puede ser necesario experimentar en animales. La experimentación en animales puede ayudar a identificar problemas de salud tales como cáncer o defectos de nacimiento. Sin el uso de animales de laboratorio, los científicos perderían un método importante para tomar decisiones apropiadas para proteger la salud pública. Los científicos tienen la responsabilidad de tratar a los animales de investigación con cuidado y compasión. Los científicos deben adherirse a estrictos reglamentos para el cuidado de los animales porque actualmente hay leyes que protegen el bienestar de los animales de investigación.

El formaldehído produce irritación de los tejidos cuando entra en contacto directo con éstos. Algunas personas son más sensibles que otras a los efectos del formaldehído. Los síntomas más comunes son irritación de los ojos, la nariz, la garganta y lagrimeo, lo que ocurre con concentraciones en el aire de aproximadamente 0.4-3 partes por millón (ppm). El NIOSH indica que una concentración de formaldehído de 20 ppm constituye peligro inmediato para la salud y la vida. Un estudio encontró que personas que sufren de asma pueden ser más sensibles a los efectos de la inhalación de formaldehído que personas sin asma. Sin embargo, hay muchos estudios que no han encontrado que personas con asma son más sensibles al formaldehído. Beber cantidades altas de formaldehído puede producir dolor agudo, vómitos, coma y posiblemente la muerte. Derramar una solución concentrada de formaldehído sobre la piel puede producir irritación.

Varios estudios en ratas de laboratorio expuestas de por vida a cantidades altas de formaldehído en el aire observaron que las ratas desarrollaron cáncer de la nariz. Algunos estudios de seres humanos expuestos a cantidades más bajas de formaldehído en el aire del trabajo encontraron más casos de cáncer de la nariz y la garganta (cáncer nasofaríngeo) que lo esperado. Sin embargo, otros estudios de trabajadores expuestos a formaldehído en el aire no han confirmado esos resultados. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) ha determinado que es razonable predecir que el formaldehído es carcinogénico en seres humanos. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la EPA han determinado que el formaldehído es probablemente carcinogénico en seres humanos. Esta determinación fue basada en evidencia limitada de cáncer en seres humanos y evidencia suficiente de cáncer en animales de laboratorio.

1.6 ¿Cómo puede afectar el formaldehído a los niños?

Esta sección discute los posibles efectos sobre la salud en seres humanos causados por exposiciones desde la concepción a la madurez (18 años de edad).

Es probable que los niños se expongan al formaldehído de manera similar que los adultos. La manera más común en la cual los niños se exponen al formaldehído es al respirarlo en el aire. Los niños también pueden exponerse al usar algunos tipos de ropa nueva o cosméticos. Pocos estudios han investigado los efectos del formaldehído sobre la salud en niños. Es muy probable que respirar formaldehído produzca irritación de la nariz y los ojos (sensación de ardor, comezón, lagrimeo y dolor de garganta). Sin embargo, no se sabe si en los niños la irritación ocurre a niveles de formaldehído más bajos que en adultos.

Anexo 11. Gordón, C. (2012). *Exposición y efectos en la salud del personal que trabaja en estacionamientos cerrados por la inhalación de monóxido de carbono en el Distrito Metropolitano de Quito 2012*. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/12874/1/53407_1.pdf 1; 65

1

INTRODUCCION

El monóxido de carbono (CO) constituye una de las principales causas de muerte por envenenamiento a nivel mundial.

El CO es un gas tóxico, menos denso que el aire y que se dispersa con facilidad debido a que temperatura y presión ambiente se comportan como aire; su alta toxicidad se suma a la peligrosidad de pasar desapercibido, al ser inodoro, incoloro y no irritar las mucosas, la mortalidad suele estar asociada al uso de artefactos de gas defectuosos o mal instalados, fuentes de calefacción en ambientes mal ventilados, exposición a gases de motor en ambientes cerrados e inhalación de humo en el transcurso de incendios, donde el CO es el principal agente responsable de las alteraciones encontradas. (Fauci, Braunwald, Kasper, Hauser y Longo 2010)

La intoxicación por CO es un problema frecuente, muchas veces no diagnosticado, ni sospechado durante la atención de urgencia. El conocimiento de las manifestaciones clínicas inducidas por la inhalación de este peligroso gas y la posibilidad de determinar la presencia de carboxihemoglobina (COHb) en sangre, junto a otros estudios complementarios, son elementos esenciales para su correcto diagnóstico y tratamiento. (Albano, 2010)

Uno de los objetivos de la actual Administración del Municipio de Quito es establecer acciones para prevenir y evitar daños en la salud del personal que trabaja en los estacionamientos, así como para los usuarios que utilizan este servicio. Esta iniciativa se ejecuta a través del mejoramiento de la movilidad y calidad del aire, para lo cual la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente, realiza el monitoreo ambiental en la ciudad, a más de la implementación del control obligatorio de las emisiones de los automotores que en la actualidad se estima en alrededor de 415.000 vehículos aproximadamente (Corpaire, 2011). A su vez las autoridades del DMQ han tenido que restringir la circulación de automotores, especialmente en las principales calles del centro de la ciudad, convirtiendo a estos lugares históricos en zonas peatonales con la consiguiente disminución de los espacios disponibles para parquear los vehículos, por lo se antepuso como medida de solución a esta dificultad la incorporación de una red amplia de estacionamientos cerrados y abiertos, donde diariamente asisten miles de personas, las cuales acceden a estos servicios permaneciendo en el interior de estos lugares por varios minutos, lo que implica en muchos casos y dependiendo de la hora, estar expuestos a monóxido de carbono, que es un gas inodoro, insípido, generado por combustión y altamente tóxico, que incluso en muy bajas concentraciones, puede originar efectos adversos a la salud, la exposición de una persona a concentraciones de 100 ppm produce dolores de cabeza, reducción del discernimiento mental y después de dos horas de exposición disminuye la capacidad de la sangre para transportar oxígeno en un 90%.

En concentraciones de 15 ppm, comunes en áreas de alto tránsito de vehículos, sus efectos son notorios especialmente en personas con afecciones nerviosas, cardiovasculares o pulmonares. (García, 2011) (Albano, 2010).

resultados de la encuesta refleja que un 81.18% de los trabajadores percibe, que no existe buena ventilación.

Con lo que respecta a si se han realizado monitoreo del aire en el ambiente de trabajo el 66.36% de la población que trabaja en el estacionamiento El Tejar indican que si se han realizado; sin embargo el 90.90 manifiestan no tener conocimiento de los resultados.

Procedimientos y Programas Operativos Básicos

En relación a pregunta 5 que dice si facilita el equipo de protección el 50 % señala que si se ha dotado del EPP, mascarillas para gases y vapores tóxicos, protectores auditivos con la finalidad de prevenir afecciones en la salud del personal que trabaja en los estacionamientos.

Se garantiza la vigilancia periódica de la salud de los trabajadores, el 77.27% manifiestan, que no se cumple con este objetivo a pesar que se cuenta con un dispensario medico; además no se han realizado reconocimientos médicos específicos; respondiendo negativamente a esta pregunta el 86.36% trabajadores es decir el 58.88%; en lo referente a si se han presentado afecciones en la salud 14 trabajadores equivalente al 63.63 % de los 22 encuestados indican haber tenido: Dolor de cabeza, ardor de garganta, irritación de ojos, inflamación garganta, dolor de pecho, obstrucción fosas nasales, gripe nauseas, mareo, cansancio, somnolencia, sueño y tos.

Adicionalmente existen 7 trabajadores que consumen medicación, para la presión alta, rinitis, gastritis y columna enfermedades que no son vinculantes en el estudio realizado; salvo la persona que tiene rinitis;

Consume tabaco un 72.72 % un cigarrillo al día, el 13.63 % y de 2 a 5 cigarrillos el 13.63% a pesar de conocer los riesgos de trabajar en un ambiente contaminado; y la prohibición de hacerlo en lugares públicos, donde los límites de exposición en algunos casos supera la norma OSHA es decir 50ppm

ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Anexo 12. Soca, J. (2021). Emisiones contaminantes de los motores de combustión interna. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/357753927_EMISIONES_CONTAMINANTES_DE_LOS_MOTORES_DE_COMBUSTION_INTERNA..... 12 - 13

emisiones de gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados (CO_2 , CH_4 , N_2O y halocarbonos) de 2011, en relación con 1750, es de $3,00 \text{ W m}^{-2}$. El forzamiento radiativo derivado de cambios en las concentraciones de estos gases es de $2,83 \text{ W m}^{-2}$.

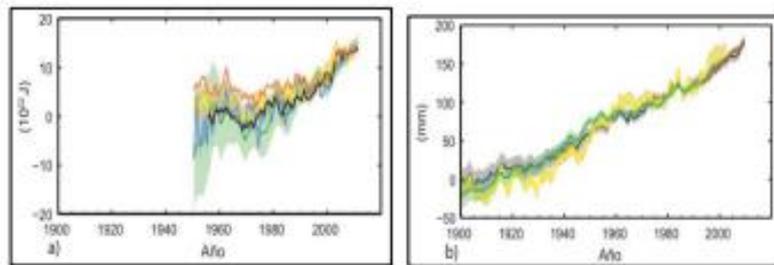


Figura 5. a) Cambio en el contenido medio de calor global en la capa superior de los océanos, b) Cambio del nivel medio del mar (ICCP, 2013).

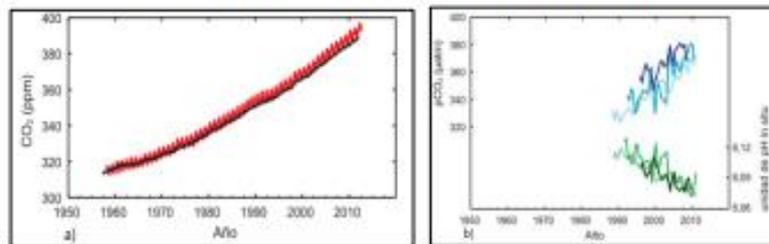


Figura 6. a) CO_2 atmosférico, b) presión del CO_2 y pH en el océano superficial (ICCP, 2013).

A modo de conclusión en esta breve caracterización del cambio climático se resume que la influencia humana en el sistema climático es clara. Es evidente las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, el forzamiento radiativo positivo, el calentamiento de la atmósfera y el océano, alteraciones en el ciclo global del agua, en reducciones de la cantidad de nieve y hielo, en la elevación media mundial del nivel del mar y en cambios en algunos fenómenos climáticos extremos.

1.1.2 Las emisiones contaminantes

La liberación directa de los componentes de los gases de escape de los procesos de combustión en el medio ambiente, es decir, la *emisión*, es el proceso principal y más importante en la cadena de emisión, transmisión, entrada de contaminantes e impacto.

Naturalmente, se hace una distinción básica entre las emisiones de la vegetación, los océanos, la actividad volcánica o la descomposición de la biomasa, por ejemplo; y las emisiones antropogénicas, es decir, las emisiones causadas o influenciadas por los humanos, de la generación de energía, el tráfico (transporte), la industria, los hogares y la agricultura, por ejemplo. Aquí solamente se abordará las emisiones antropogénicas de los procesos de combustión de motores diésel. En la figura 7 se representa la cadena funcional con las principales fuentes antropogénicas (Mollenhauer y Tschoeke, 2010). Los componentes del gas de escape pueden ser dañinos o inofensivos, así como también gaseosos, líquidos o sólidos.

En la figura 8, como ejemplo, se presenta la vista general de las emisiones antropogénicas y sus fuentes en Alemania (Mollenhauer y Tschoeke, 2010).



Figura 7. Relación entre emisión, transmisión, entrada de contaminantes e impacto (Mollenhauer y Tschoeke, 2010).

Los componentes de los gases de escape, influenciados por la topografía, las condiciones climáticas, la temperatura, la humedad y los movimientos del aire, se diluyen y someten a reacciones fisicoquímicas, dispersándose a grandes distancias mediante el transporte (transmisión) atmosférico.

La *entrada de contaminantes* (calidad del aire) es la concentración que finalmente se manifiesta después de ser transmitida a un lugar particular donde se toman mediciones,

ejemplo: en una intersección o semáforo. La entrada de contaminantes es la contaminación de los humanos o la naturaleza engendrada por la emisión y transmisión de los productos del escape.

El *impacto* son las consecuencias de la entrada de contaminantes en el medio ambiente, organismos o bienes. Los complejos procesos de transporte de emisiones son causados por la producción diaria y estacional. Por ello, existen límites de emisión de contaminantes de escape, ejemplo: de los vehículos o sistemas de calefacción domésticos, así como los límites de calidad del aire en dióxido de azufre, partículas, plomo y ozono (22nd Federal Ambient Pollution Control Act, 2002).

2.3 CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo a la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC), el cambio climático se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente **a la actividad humana** que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) define el cambio climático como cualquier cambio en el clima con el tiempo, debido a la **variabilidad natural o como resultado de actividades humanas**.

Desde el punto de vista meteorológico, se llama Cambio Climático, a la alteración de las condiciones predominantes. Los procesos externos tales como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la Tierra (la excentricidad, la inclinación del eje de la tierra con respecto a la eclíptica), los movimientos de la corteza terrestre y la actividad volcánica, son factores que tienen gran importancia en el cambio climático. Procesos internos del sistema climático también pueden producir cambios de suficiente magnitud y variabilidad a través de interacciones entre sus elementos.

El clima de la Tierra depende del equilibrio radiativo de la atmósfera, el cual depende a su vez de la cantidad de la *radiación solar* que ingresa al sistema y de la concentración atmosférica de algunos gases variables que ejercen un *efecto invernadero natural* (gases traza con actividad radiativa, nubes y aerosoles). Estos agentes de *forzamiento radiativo* varían tanto de forma natural como por la actividad humana, produciendo alteraciones en el clima del planeta (ver Figura 14).

Las moléculas de los GEI tienen la capacidad de absorber y reemitir las radiaciones de onda larga (esta es la radiación infrarroja, la cual, es eminentemente térmica) que provienen del sol y la que refleja la superficie de la Tierra hacia el espacio, controlando el flujo de energía natural a través del sistema climático. El clima debe de algún modo ajustarse a los incrementos en las concentraciones de los GEI, que genera un aumento de la radiación infrarroja que es absorbida por los GEI en la capa inferior de la atmósfera (la troposfera), en orden a mantener el balance energético de la misma. Este ajuste generará un cambio climático que se manifestará en un aumento de la temperatura global (referido como calentamiento global) que generará un aumento en el nivel del mar, cambios en los regímenes de precipitación y en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos (tales como tormentas, huracanes, fenómenos del Niño y la Niña), y se presentará una variedad de impactos sobre diferentes componentes, tales como la agricultura, los recursos hídricos, los ecosistemas, la salud humana, entre otros.

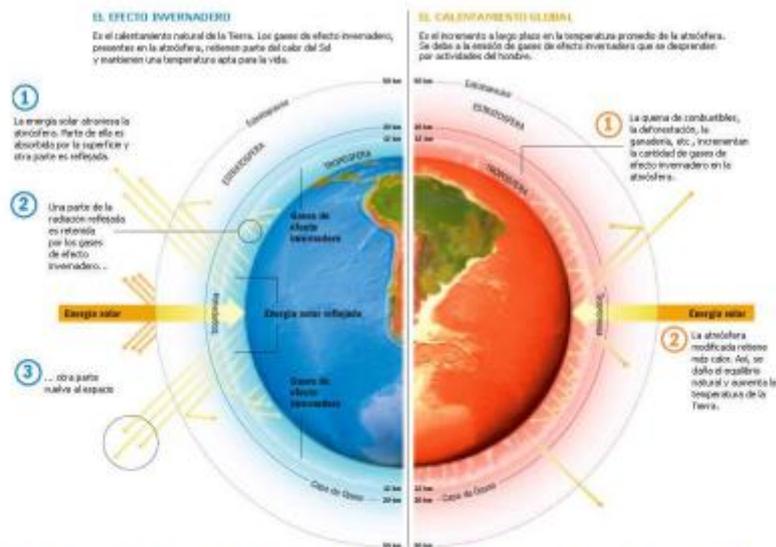


Figura 14. Efecto invernadero natural y su forzamiento, lo que induce al calentamiento global (aumento de la temperatura superficial promedio a nivel global). Fuente: <http://cambioclimaticoy sus causas.iespana.es/>

El cambio climático es, en parte, producto del incremento de las emisiones de GEI. No obstante existe una diferencia entre variabilidad climática (ejm. el fenómeno del Niño) y cambio climático. La variabilidad climática se presenta cuando con cierta frecuencia un fenómeno genera un comportamiento anormal del clima, pero es un fenómeno temporal y transitorio. El cambio climático, por otra parte, denota un proceso que no es temporal y que puede verificarse en el tiempo revisando datos climáticos (ejm. la temperatura).

Un enfoque integrado del cambio climático tiene en cuenta la dinámica del ciclo completo de causas y efectos interrelacionados en todos los sectores afectados. En el siguiente esquema se presenta un marco de evaluación integrado para la consideración de los cambios climáticos antropogénicos según se reporta en el TAR (Tercer Reporte de Evaluación del IPCC). Las flechas amarillas muestran el ciclo de causa a efecto entre los cuatro cuadrantes y la flecha azul indica la respuesta de la sociedad ante los impactos del cambio climático.

La adopción de decisiones sobre el cambio climático es esencialmente un proceso secuencial que se desarrolla en condiciones de incertidumbre general.

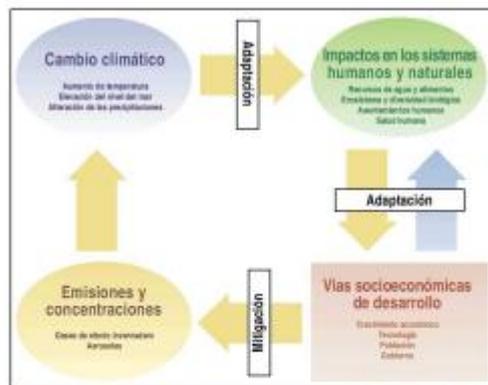


Figura 15. Enfoque integrado del cambio climático. Fuente: IPCC. Tercer Reporte de Evaluación, 2001.

2.4 CALENTAMIENTO GLOBAL

El calentamiento global se puede entender en forma simplificada como el incremento gradual de la temperatura del planeta como consecuencia del aumento de la emisión de ciertos gases de Efecto Invernadero - GEI) que impiden que los rayos del sol salgan de la tierra, bajo condiciones normales. (Una capa "más gruesa" de gases de efecto invernadero retiene más los rayos infrarrojos y hace elevar la temperatura).

Por otro lado, es un término utilizado habitualmente en dos sentidos: Es el fenómeno observado que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas. También es una teoría que predice, a partir de proyecciones basadas en simulaciones computacionales, un crecimiento futuro de las temperaturas. La opinión científica mayoritaria sobre el cambio del clima dice que "la mayor parte del calentamiento observado en los últimos 100 años, es atribuible a la actividad humana". Las simulaciones parecen indicar que la principal causa del componente de calor inducido por los humanos se debería al aumento de dióxido de carbono. La temperatura del planeta ha venido elevándose desde finales del siglo XIX, cuando se puso fin a la etapa conocida como la pequeña edad de hielo. Calentamiento global y efecto invernadero no son sinónimos. El efecto invernadero acrecentado por la contaminación, puede ser, según las teorías, la causa del calentamiento global observado.

2.5 CAMBIO GLOBAL

Se puede definir como los cambios generados por los procesos naturales y por la actividad humana que afectan el medio ambiente global en forma directa o a través de la acumulación de alteraciones locales o regionales. Las escalas espacio-

temporales de los procesos que conllevan al cambio global son variadas: algunos, como la deforestación son a escala regional y puede ser medida en días, otros, como el calentamiento global y el cambio climático cubren todo el planeta y se manifiestan en períodos que van desde el decenio hasta milenios.

2.6 OSCURECIMIENTO GLOBAL² (Un problema ecológico desconocido hasta ahora, pero que puede ser tan grave como el calentamiento global)

Es un hecho: la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre, se ha reducido gradual y globalmente, hasta un 10%, debido a la contaminación atmosférica, con consecuencias imprevisibles para la Tierra. A este fenómeno se le ha denominado **Oscurecimiento Global**. Es un fenómeno real que, a pesar de haber sido claramente observado y estudiado desde hace dos décadas, es muy poco conocido por el público, los gobiernos e incluso por la propia comunidad científica.

La combustión de fuentes de energía fósiles, como el carbón y el petróleo, no sólo genera dióxido de carbono y demás gases de efecto invernadero, sino que además libera a la atmósfera pequeñas partículas de ceniza, hollín y compuestos de azufre que reflejan la luz solar al espacio, disminuyéndola en su viaje al alcanzar la superficie terrestre, provocando lo que se conoce como «efecto espejo» y causando un efecto de enfriamiento.

Esta contaminación atmosférica ha reducido en un 10%, durante los últimos 50 años, la radiación solar incidente terrestre, afectando directamente a la fotosíntesis, al comportamiento, formación y composición de las nubes e implícitamente potenciando las sequías, y lo más grave de todo: su efecto de enfriamiento ha contrarrestado el calentamiento global, encubriéndolo, lo cual nos ha llevado a subestimar e infravalorar el impacto del efecto invernadero y los verdaderos alcances del calentamiento global en general.

Pero, este fenómeno aún es motivo de debate porque muchos consideran que solo se trataría de un problema localizado en algunas zonas contaminadas. De ser así, eso no significaría una alteración de la temperatura de todo el planeta, sino solamente en aquellas zonas afectadas por el oscurecimiento (Revista Portafolio 17-julio -2007).

Anexo 14. Terrera, O. (2009). *Universidad del Aconcagua facultad de ciencias médicas licenciatura en enfermería*. Obtenido de Consecuencias del smog en las vías respiratorias: http://bibliotecadigital.uda.edu.ar/objetos_digitales/151/tesis-3787-consecuencias.pdf

No toda alergia produce alteraciones respiratorias, pensemos en las eczemas, resfríos alérgicos y urticarias.

La laringitis es la inflamación de la laringe asociada casi siempre con una infección respiratoria o con agentes irritantes, como el humo del cigarrillo u otros factores similares. La inflamación de las cuerdas vocales produce disfonía o pérdida de la voz.

La **contaminación atmosférica** o el **esmog** (adaptación fonética del acrónimo *smog*, que deriva de las palabras inglesas *smoke* —humo— y *fog* —niebla—) es una forma de contaminación originada a partir de la combinación del aire con contaminantes durante un largo período de altas presiones (anticiclón), que provoca el estancamiento del aire y, por lo tanto, la permanencia de los contaminantes en las capas más bajas de la atmósfera, debido a su mayor densidad. Existen dos tipos de esmog:

- Esmog sulfuroso es el esmog gris, sulfuroso, reductor, industrial, o más
- comúnmente lluvia ácida, fue muy típico en grandes urbes industriales, debido a la contaminación por óxidos de azufre procedentes de la combustión del carbón, que reacciona con el vapor de agua de la atmósfera, formando ácido sulfúrico (de ahí su última denominación citada), y una gran variedad de partículas sólidas en suspensión. Origina una espesa niebla cargada de contaminantes, con efectos muy nocivos para la salud de las personas, la supervivencia de los vegetales y la conservación de edificios, estatuas y otros materiales, principalmente en las zonas urbanas. Su origen se debe a la elevada concentración de SO₂ (ácido sulfuroso) en núcleos urbanos y su

combinación con niebla. Esto da lugar a una neblina de color pardo-gris sobre la ciudad que produce alteraciones respiratorias.

- Esmog fotoquímico es cuando una combinación de óxidos de nitrógeno y COVs procedentes del escape de los vehículos reaccionaban, catalizados por la radiación solar, para formar ozono. A la vez se oscurecía la atmósfera, tiñendo sus capas bajas de un color pardo rojizo, cargado de componentes dañinos para todos los seres vivos y diversos materiales. Surge de las reacciones de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y oxígeno con la energía proveniente de la radiación solar ultravioleta. El esmog fotoquímico reduce la visibilidad, irritando los ojos y el aparato respiratorio. En zonas muy pobladas, el índice de mortalidad suele aumentar durante periodos de esmog, sobre todo cuando una inversión térmica crea sobre la ciudad una cubierta (la llamada *boina*) que impide la disipación del esmog. Éste se produce con más frecuencia en ciudades con costa o cercanas a ella, o en ciudades situadas en valles amplios, con zonas arbóreas abundantes. Su mayor incidencia se produce en las horas centrales del día, cuando la radiación solar es mayor, acelerando la producción de los contaminantes secundarios. Se ve favorecido por situaciones anticiclónicas, fuerte insolación y vientos débiles que dificultan la dispersión de los contaminantes.

El esmog es un problema en una gran cantidad de ciudades y continúa dañando la salud humana. El dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno y el monóxido de carbono son especialmente dañinos para personas en edad avanzada, niños y personas con problemas cardíacos o pulmonares como enfisema, bronquitis y asma. Puede inflamar las vías respiratorias,

disminuyendo la capacidad de trabajo de los pulmones, causa falta de aliento y dolor cuando se inhala fuertemente, así como tos y silbidos de las vías respiratorias. También causa irritaciones en los ojos y en la nariz; y seca las membranas protectoras de mucosa de la nariz y la garganta, interfiriendo con la habilidad del cuerpo para luchar contra las enfermedades; y por lo tanto, incrementando la susceptibilidad a las enfermedades.

El smog es peor durante periodos de clima cálido y soleado, cuando la capa superior del aire es lo suficientemente cálida como para inhibir la circulación vertical. Esto es especialmente frecuente en cuencas geográficas, lugares rodeados de lomas o montañas, en donde los contaminantes quedan atrapados debidos al efecto de la inversión térmica. Normalmente estas condiciones se mantienen durante largos periodos de tiempo, y en ciudades densamente pobladas, pueden crecer hasta niveles peligrosos.

Se entiende por contaminación atmosférica, cualquier alteración de la atmosfera terrestre susceptible de causar impacto ambiental, por la adición de gases o partículas solidas o liquidas en suspensión en proporciones distintas a las naturales, que pueda poner en riesgo a personas, animales y plantas, así como atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.

El nombre de la contaminación atmosférica se aplica por lo general a las

Anexo 15. Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud.
Revista Española de Salud Pública.

COLABORACIÓN ESPECIAL

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD

Ferran Ballester

Unidad de Epidemiología y Estadística. Escuela Valenciana de Estudios para la Salud.

RESUMEN

Las emisiones a la atmósfera relacionadas con el cambio climático pueden agravar los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de los ciudadanos, no solo indirectamente por el impacto en los fenómenos meteorológicos, sino, de manera inmediata, por los efectos directos de los contaminantes para la salud. Sin embargo, durante demasiados años los esfuerzos en la mayor parte del mundo se han dirigido a tratar estos dos problemas separadamente. De hecho, muy a menudo se considera que los beneficios de la protección del clima sobre la salud se obtendrán a largo plazo. Por el contrario, lo que se ha puesto de manifiesto en los últimos años es que las acciones para reducir las emisiones de gases contaminantes redundarían en efectos beneficiosos a corto plazo debido a la reducción del impacto de los contaminantes atmosféricos sobre la salud de los ciudadanos.

En este capítulo se presentan los posibles riesgos de los contaminantes más relacionados con los cambios climáticos, como el ozono o las partículas finas. Teniendo en cuenta las incertidumbres y desconocimientos sobre el tema en el presente se plantean las principales implicaciones para las políticas sobre el tema en España, así como las necesidades de investigación. En este sentido, tanto desde el punto de vista de la vigilancia como de la investigación se considera necesario el establecimiento de un sistema de vigilancia epidemiológica de los efectos de la contaminación atmosférica y su relación con los cambios globales.

Palabras clave: Contaminación atmosférica. Cambio climático. España. Predicción. Evaluación de Necesidades.

ABSTRACT

Air Pollution, Climate Change and Health

Emissions into the atmosphere related to the climate change may further worsen the effects which air pollution has on the health of our citizens, not only indirectly due to the impact of weather phenomena, but directly, due to the direct effects pollutants have on health. However, the efforts throughout most of the world have been aimed at dealing with these two problems separately for too many years. In fact, it is very often believed that the climate's health-safeguarding benefits would be achieved in the long term. To the contrary, what has become obvious over recent years is that the actions for reducing the emissions of polluting gases could redound in beneficial effects in the short term due to the reduction of the impact of air pollutants on the health of our citizens.

This article presents the possible risks of the pollutants most closely related to climate changes, such as ozone and fine particles. Bearing in mind the uncertainties and unknowns related to this subject, the main implications for the policies related to this matter in Spain, as well as the needs for research are set out herein. In this regard, both from the standpoint of monitoring as well as research, it is considered necessary for an epidemiological monitoring system of the effects of air pollution and the relationship thereof to global changes to be established.

Key words: Air pollution. Climatic Changes. Spain. Forecasting. Needs Assessment.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud considera la contaminación atmosférica como una de las más importantes prioridades mundiales en salud¹. En un reciente informe se ha estimado que la contaminación ambiental

debida a partículas es responsable de 1,4% de todas las muertes en el mundo². La contaminación atmosférica en interiores tendría un efecto aún mayor, especialmente en países en vías de desarrollo. En definitiva, importantes sectores de la población se encuentran expuestos a contaminantes atmosféricos con posibles repercusiones negativas sobre su salud.

Las emisiones a la atmósfera relacionadas con el cambio climático pueden agravar los

Correspondencia:
Ferran Ballester.
Escuela Valenciana de Estudios para la Salud.
C/ Juan de Garay 21, 46017 Valencia
Correo electrónico: ballester_fer@gva.es

efectos de la contaminación del aire sobre la salud de los ciudadanos, no sólo indirectamente por el impacto en los fenómenos meteorológicos sino de manera inmediata por los efectos directos de los contaminantes sobre la salud.

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SUS FUENTES

Los contaminantes atmosféricos, normalmente medidos en la atmósfera urbana, provienen de fuentes móviles (tráfico rodado) y de fuentes fijas de combustión (industrias, usos residenciales –climatización–, y procesos de eliminación de residuos). Se distingue entre contaminantes primarios y secundarios. Los primeros son los que proceden directamente de la fuente de emisión. Los contaminantes secundarios se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y físicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera, distinguiéndose, sobre todo, la contaminación fotoquímica y la acidificación del medio. Las características de los

principales contaminantes químicos y sus fuentes más importantes se resumen en la tabla 1.

IMPACTO EN SALUD DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Efectos en salud ocasionados por la contaminación atmosférica

Es necesario reconocer que aún existen incertidumbres acerca de los mecanismos fisiopatogénicos de los contaminantes atmosféricos. Sin embargo se conoce bien que los efectos de la exposición a la contaminación atmosférica son múltiples y de diferente severidad, siendo los más afectados los sistemas respiratorio y cardiocirculatorio. Estos efectos mantienen una gradación tanto en la gravedad de sus consecuencias como en la población susceptible afectada (figura 1).

En los últimos años se han llevado a cabo diversos proyectos multicéntricos utilizando técnicas de *análisis de series temporales*. En

Tabla 1

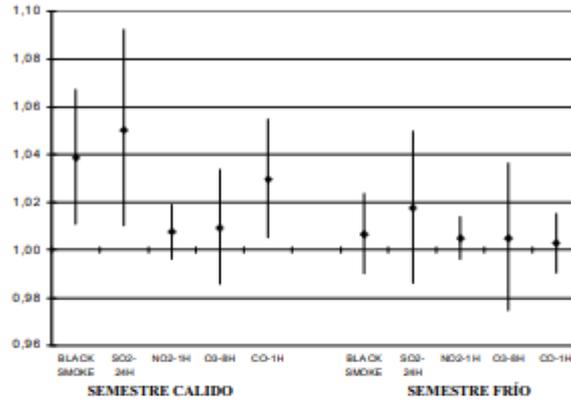
Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes

Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM); PM ₁₀ ; Humos negros.	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Vehículos Procesos industriales Humo del tabaco
Dióxido de azufre (SO ₂)	Primaria	Gas	Procesos industriales Vehículos
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos Estufas y cocinas de gas
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos Combustiones en interiores Humo de tabaco
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Primaria, secundaria	Gas	Vehículos, industria, humo del tabaco Combustiones en interiores
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O ₃)	Secundaria	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO _x y COVs)

PM₁₀: partículas con un diámetro inferior a 10 µm
NO_x: óxidos de nitrógeno

Figura 1

Asociación entre contaminación atmosférica e ingresos urgentes diarios por enfermedades cardiovasculares. Análisis por semestres. Valencia, 1994-1996. Los resultados se expresan como el riesgo relativo (y su intervalo de confianza al 95%) por un incremento en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($1 \text{ mg}/\text{m}^3$ para el CO) en los niveles diarios del contaminante correspondiente



Fuente: Ballester et al²⁶

Europa el proyecto APHEA³ y en Estados Unidos el estudio NMMAPS⁴ se encuentran entre los que han aportado más al conocimiento del impacto agudo de la contaminación en la salud. En Francia⁵ e Italia⁶ se han realizado estudios multicéntricos nacionales que han valorado el impacto de la contaminación en las principales ciudades de cada uno de estos países. En España dentro del proyecto EMECAS se está llevando a cabo un estudio que incluye a 16 ciudades sobre el impacto de la contaminación atmosférica⁷⁻¹⁰. En general el contaminante más estudiado ha sido las partículas, encontrándose que un incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles atmosféricos de PM10 se asocia, según los estudios, con un aumento de un 0,2 a un 1% en la mortalidad por todas las causas y un 0,5 a un 2% en la mortalidad cardiorrespiratoria.

Aunque en menor número que los estudios de series temporales existen varios estu-

dios de cohortes sobre el impacto de la contaminación en la salud. El más importante es el realizado por Pope y colaboradores como parte del *II Estudio para la Prevención del Cáncer*. En total se recogieron desde 1982 datos sobre factores de riesgo y contaminación atmosférica para unos 500.000 adultos de 151 áreas metropolitanas de los Estados Unidos. En marzo de 2002 se publicaron los resultados del seguimiento de dicha cohorte hasta el año 1998¹¹. Las partículas finas (PM2,5) y los óxidos de azufre mostraron una asociación con la mortalidad para todas las causas, para enfermedades del aparato circulatorio y por cáncer de pulmón. Cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles atmosféricos de partículas finas se asoció aproximadamente con un aumento de un 4%, 6%, y 8% respectivamente del riesgo de morir por todas las causas, por del aparato circulatorio y por cáncer de pulmón.

Anexo 16. Arrieta, A. (2019). *Compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COV) en ambientes exteriores. Estimación de la exposición de la población y del incremento de riesgo en salud. Aplicación al país Vasco*. Obtenido de <https://addi.ehu.es/handle/10810/35183> 9-11

CAPÍTULO 2.

EFFECTOS DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES NO METÁNICOS EN LA SALUD

En este capítulo se describen los efectos de los COV en la salud. Comienza con la descripción de la dinámica de los COV en ambiente exteriores, los tipos de fuentes habituales, tanto puntuales como difusas, la evolución de los COV en la atmósfera y, además, las fuentes de contaminación en la CAPV. Se incluye también, información sobre la relación entre contaminación exterior e interior.

Por otro lado, se recogen las fuentes de exposición interior y niveles de contaminación habitual, así como la exposición durante la movilidad, debido a que supone un escenario de exposición muy particular.

Por último, se describen subpoblaciones sensibles, bien sea debido a la susceptibilidad biológica de estas subpoblaciones o debido a diferencias en la exposición, y se apuntan algunas nociones en relación al efecto de las mezclas.

2.1. INTRODUCCIÓN

Un contaminante atmosférico es una sustancia que puede producir daños en humanos, animales, vegetación o materia. En lo que se refiere a humanos, un contaminante atmosférico puede causar o contribuir a un incremento en la mortalidad, en enfermedades serias o puede suponer un peligro presente o potencial para la salud (Kampa et al., 2008).

En cuanto a fuentes de contaminación, éstas pueden ser tanto antropogénicas como naturales. Los contaminantes pueden ser emitidos directamente a la atmósfera, en cuyo caso se llaman contaminantes primarios, o formados en la propia atmósfera, en cuyo caso se llaman contaminantes secundarios. Además, pueden ser transportados o formados a distancias muy largas, por lo que pueden afectar a áreas muy amplias (EEA, 2017a).

La contaminación atmosférica es un importante determinante de salud. Numerosos estudios epidemiológicos han encontrado asociación entre contaminación y un amplio rango de efectos adversos en salud en la población. Estos efectos pueden variar desde sutiles efectos subclínicos hasta muerte prematura (WHO, 2016b). Así, la contaminación atmosférica, tanto de

fuentes interiores como exteriores, representa globalmente el principal riesgo ambiental para la salud en el mundo. La Organización Mundial de la Salud estima que más de 3 millones de muertes prematuras fueron causadas por la exposición a la contaminación atmosférica en 2012 (WHO, 2016a). Los infartos y los ataques al corazón son las razones de muertes más comunes atribuibles a la contaminación atmosférica, seguidos por las enfermedades de pulmón y el cáncer (WHO, 2014).

La enorme incidencia de la contaminación atmosférica en la salud está siendo reconocida por gobiernos e instituciones en todo el mundo, como un problema primordial en salud pública. Así, en mayo de 2015, la Asamblea Mundial de Salud, el órgano decisorio de la OMS, adoptó la resolución WHA68.8 (WHA, 2015) en salud y medio ambiente, en el cual se trata el impacto en salud de la contaminación atmosférica, y se urge a los Estados Miembros y a la OMS a redoblar sus esfuerzos en la protección de la población frente a los riesgos en salud generados por la contaminación atmosférica (EEA, 2017a).

Por su parte, la Agencia Europea de Medio Ambiente ha vuelto a reiterar que la contaminación atmosférica es la primera causa ambiental de muerte en la Unión Europea (EEA, 2017a) y es responsable de más de 400.000 muertes prematuras al año (Lim et al., 2012; WHO, 2014, 2016; GBD, 2016; Risk Factors Collaborators, 2017; HEI, 2018).

La contaminación atmosférica está asociada con numerosos efectos en la salud humana, tanto agudos como crónicos. Mientras que los incrementos diarios en los niveles de contaminantes se asocian con un mayor número de visitas al médico y visitas a hospital, particularmente para desórdenes cardiorrespiratorios, se cree que los efectos en la salud derivados de exposición a largo plazo son mucho más importantes (Villeneuve et al., 2013a).

Tanto la exposición a corto plazo como a largo plazo en adultos y menores, puede llevar a una reducción en la función pulmonaria, a infecciones respiratorias y a agravación del asma. La exposición maternal a contaminación atmosférica está asociada con impactos adversos en fertilidad, embarazo, recién nacidos y niños (WHO, 2005, 2013). También hay evidencia de que la exposición a contaminación atmosférica está asociada con diabetes de tipo 2 en adultos, y que puede estar asociada con la obesidad, inflamación sistémica, envejecimiento, Alzheimer y demencia (RCP, 2016; WHO, 2016b).

En 2016, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (International Agency for Research on Cancer, IARC), determina que hay suficiente evidencia en humanos y en animales de experimentación sobre la carcinogenicidad de la contaminación atmosférica exterior. Por ello determina que la contaminación atmosférica exterior causa cáncer de pulmón. Asimismo, indica que se ha observado asociación entre la contaminación exterior y el cáncer de vejiga urinaria. Hay fuerte evidencia de los mecanismos de acción, que indican que la contaminación atmosférica es mutagénica y carcinógena para los humanos vía genotoxicidad. Además, determina que la contaminación exterior está asociada con un incremento de daño genético, que a la vez es predictivo de cáncer en humanos, y que la exposición a la misma puede

fomentar la progresión del cáncer a través del estrés oxidativo, respuestas a este estrés e inflamación sostenida. Por ello, se clasifica la contaminación exterior como *carcinógeno para humanos*, Grupo 1 (IARC, 2016).

Además, la contaminación atmosférica tiene un importante coste asociado. Así, en 2013, la Comisión Europea estimó entre 330.000 y 940.000 millones de euros anuales los costes externos totales que la contaminación atmosférica tiene para la salud (Tribunal Europeo de Cuentas, 2018).

Se dan importantes diferencias en cuanto a la calidad del aire en función de la zona geográfica. Por ejemplo, en función de los niveles de contaminación de los países, el número de años de vida sana perdidos por cada cien habitantes varía de forma importante (ver figura 2.1).

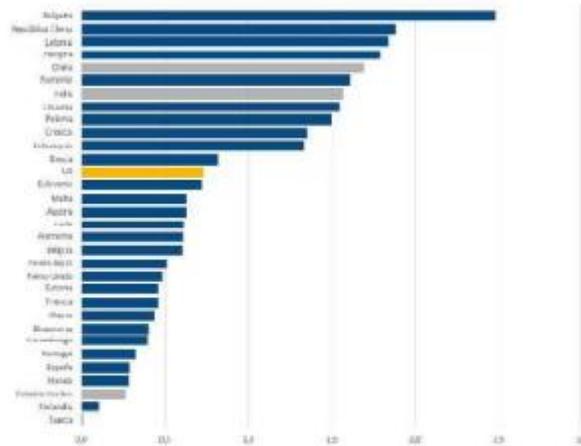


Figura 2.1. Años de vida sana perdidos como consecuencia de la contaminación del aire ambiente por cada cien habitantes. Fuente: WHO, "Public Health and Environment (PHE): ambient air pollution DALYs attributable to ambient air pollution" 2012.

Las personas que viven en las ciudades son, en general, las más afectadas ya que se encuentran más cerca de los focos emisores. Por otro lado, habitantes de África, Asia o Medio Este respiran niveles de contaminantes mucho más elevados que aquellos que viven en otras partes del mundo. Algunos lugares tienen incluso niveles de contaminación que son varias veces superiores a los niveles considerados como seguros por las Guías de la OMS (WHO, 2016a).

Anexo 17. Liteplo, R. G, Beauchamp, R, Chénier, R, Meek, M. E, World Health Organization. et al. . (2002). *Formaldehyde*. Obtenido de World Health Organization: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42430> 4-5

1. EXECUTIVE SUMMARY

This CICAD on formaldehyde was prepared jointly by the Environmental Health Directorate of Health Canada and the Commercial Chemicals Evaluation Branch of Environment Canada based on documentation prepared as part of the Priority Substances Program under the *Canadian Environmental Protection Act* (CEPA). The objective of assessments on Priority Substances under CEPA is to assess potential effects of indirect exposure in the general environment on human health as well as environmental effects. This CICAD additionally includes information on occupational exposure. Data identified as of the end of December 1999 (environmental effects) and January 1999 (human health effects) were considered in this review.¹ Other reviews that were also consulted include IARC (1981, 1995), IPCS (1989), RIVM (1992), BIBRA Toxicology International (1994), and ATSDR (1999). Information on the nature of the peer review and availability of the source document (Environment Canada & Health Canada, 2001) and its supporting documentation is presented in Appendix 1. It should be noted, as indicated therein, that the biologically motivated case-specific model for exposure-response analyses for cancer included in this CICAD was the product of a joint effort involving the US Environmental Protection Agency (EPA), Health Canada, the Chemical Industry Institute of Toxicology (CIIT), and others. The product of this collaborative effort superseded the content of a draft CICAD on formaldehyde prepared previously by the Office of Pollution Prevention and Toxics of the US EPA, on the basis of health-related toxicological information published prior to 1992. Information on the peer review of this CICAD is presented in Appendix 2. This CICAD was approved as an international assessment at a meeting of the Final Review Board, held in Geneva, Switzerland, on 8–12 January 2001. Participants at the Final Review Board meeting are listed in Appendix 3. The International Chemical Safety Card for formaldehyde (ICSC 0275), produced by the International Programme on Chemical Safety (IPCS, 2000), has also been reproduced in this document.

¹ New information flagged by reviewers and obtained in a literature search conducted prior to the Final Review Board meeting has been scoped to indicate its likely impact on the essential conclusions of this assessment, primarily to establish priority for its consideration in an update. More recent information not critical to the hazard characterization or exposure-response analysis, considered by reviewers to add to informational content, has been included.

Formaldehyde (CAS No. 50-0-0) is a colourless, highly flammable gas that is sold commercially as 30–50% (by weight) aqueous solutions. Formaldehyde enters the environment from natural sources (including forest fires) and from direct human sources, such as automotive and other fuel combustion and industrial on-site uses. Secondary formation also occurs, by the oxidation of natural and anthropogenic organic compounds present in air. The highest concentrations measured in the environment occur near anthropogenic sources; these are of prime concern for the exposure of humans and other biota. Motor vehicles are the largest direct human source of formaldehyde in the environment of the source country (Canada). Releases from industrial processes are considerably less. Industrial uses of formaldehyde include the production of resins and fertilizers.

When formaldehyde is released to or formed in air, most of it degrades, and a very small amount moves into water. When formaldehyde is released into water, it does not move into other media but is broken down. Formaldehyde does not persist in the environment, but its continuous release and formation result in long-term exposure near sources of release and formation.

The focus of the human health assessment is air-borne exposure, due primarily to the lack of representative data on concentrations in media other than air and limited data on effects following ingestion.

Extensive recent data are available for concentrations of formaldehyde in air at industrial, urban, suburban, rural, and remote locations in the source country (Canada). There are fewer but still considerable data on concentrations in indoor air, which are higher. Data on concentrations in water are more limited. Although formaldehyde is a natural component of a variety of foodstuffs, monitoring has generally been sporadic and source directed. Based on available data, the highest concentrations of formaldehyde occurring naturally in foods are in some fruits and marine fish. Formaldehyde may also be present in food due to its use as a bacteriostatic agent in production and its addition to animal feed to improve handling characteristics. Formaldehyde and formaldehyde derivatives are also present in a wide variety of consumer products to protect the products from spoilage by microbial contamination. The general population is also exposed during release from combustion (e.g., from cigarettes and cooking) and emission from some building materials, such as pressed wood products.

Since formaldehyde (also a product of intermediary metabolism) is water soluble, highly reactive with biological macromolecules, and rapidly metabolized, adverse effects resulting from exposure are observed primarily in those tissues or organs with which formaldehyde first comes into contact (i.e., the respiratory and aerodigestive tract, including oral and gastrointestinal mucosa, following inhalation or ingestion, respectively).

Sensory irritation of the eyes and respiratory tract by formaldehyde has been observed consistently in clinical studies and epidemiological surveys in occupational and residential environments. At concentrations higher than those generally associated with sensory irritation, formaldehyde may also contribute to the induction of generally small, reversible effects on lung function.

For the general population, dermal exposure to concentrations of formaldehyde, in solution, in the vicinity of 1–2% (10 000–20 000 mg/litre) is likely to cause skin irritation; however, in hypersensitive individuals, contact dermatitis can occur following exposure to formaldehyde at concentrations as low as 0.003% (30 mg/litre). In North America, less than 10% of patients presenting with contact dermatitis may be immunologically hypersensitive to formaldehyde. Although it has been suggested in case reports for some individuals that formaldehyde-induced asthma was attributable to immunological mechanisms, no clear evidence has been identified. However, in studies with laboratory animals, formaldehyde has enhanced their sensitization to inhaled allergens.

Following inhalation in laboratory animals, formaldehyde causes degenerative non-neoplastic effects in mice and monkeys and nasal tumours in rats. *In vitro*, formaldehyde induced DNA–protein crosslinks, DNA single-strand breaks, chromosomal aberrations, sister chromatid exchange, and gene mutations in human and rodent cells. Formaldehyde administered by inhalation or gavage to rats *in vivo* induced chromosomal anomalies in lung cells and micronuclei in the gastrointestinal mucosa. The results of epidemiological studies in occupationally exposed populations are consistent with a pattern of weak positive responses for genotoxicity, with good evidence of an effect at site of contact (e.g., micronucleated buccal or nasal mucosal cells). Evidence for distal (i.e., systemic) effects is equivocal. Overall, based on studies in both animals and humans, formaldehyde is weakly genotoxic, with good evidence of an effect at site of contact, but less convincing evidence at distal sites. Epidemiological studies taken as a whole do not provide strong evidence for a causal association between formaldehyde exposure and human

cancers, although the possibility of increased risk of respiratory cancers, particularly those of the upper respiratory tract, cannot be excluded on the basis of available data. Therefore, based primarily upon data derived from laboratory studies, the inhalation of formaldehyde under conditions that induce cytotoxicity and sustained regenerative proliferation is considered to present a carcinogenic hazard to humans.

The majority of the general population is exposed to airborne concentrations of formaldehyde less than those associated with sensory irritation (i.e., 0.083 ppm [0.1 mg/m³]). However, in some indoor locations, concentrations may approach those associated with eye and respiratory tract sensory irritation in humans. Risks of cancer estimated on the basis of a biologically motivated case-specific model for calculated exposure of the general population to formaldehyde in air based on the sample exposure scenario for the source country (Canada) are exceedingly low. This model incorporates two-stage clonal growth modelling and is supported by dosimetry calculations from computational fluid dynamics modelling of formaldehyde flux in various regions of the nose and single-path modelling for the lower respiratory tract.

Environmental toxicity data are available for a wide range of terrestrial and aquatic organisms. Based on the maximum concentrations measured in air, surface water, effluents, and groundwater in the sample exposure scenario from the source country and on the estimated no-effects values derived from experimental data for terrestrial and aquatic biota, formaldehyde is not likely to cause adverse effects on terrestrial or aquatic organisms.

2. IDENTITY AND PHYSICAL/CHEMICAL PROPERTIES

Formaldehyde (CH₂O) is also known as methanal, methylene oxide, oxymethylene, methylaldehyde, oxo-methane, and formic aldehyde. Its Chemical Abstracts Service (CAS) registry number is 50-00-0.

At room temperature, formaldehyde is a colourless gas with a pungent, irritating odour. It is highly reactive, readily undergoes polymerization, is highly flammable, and can form explosive mixtures in air. It decomposes at temperatures above 150 °C. Formaldehyde is readily soluble in water, alcohols, and other polar solvents. In aqueous solutions, formaldehyde hydrates and polymerizes and can exist as methylene glycol, polyoxymethylene, and hemiformals. Solutions with high



A Review: CO₂ Utilization

Chih-Hung Huang, Chung-Sung Tan*

Department of Chemical Engineering, National Tsing Hua University, Hsinchu 30013, Taiwan

ABSTRACT

Global warming due to the accumulation of atmospheric CO₂ has received widespread attention in recent years. Although various CO₂ capture technologies have been proposed, using the captured CO₂ from power plants is increasingly popular because of concerns with regard to the safety of underground and ocean CO₂ storage. Various techniques related to utilization of CO₂ from the exhausted gas of power plants are discussed in this article. The existing and under-development technologies for CO₂ utilization in the world are briefly reviewed. Two categories, direct utilization of CO₂ and conversion of CO₂ to chemicals and energy products, are used to classify different forms of CO₂ utilization. Regarding the direct utilization of CO₂, in addition to its use in soft drinks, welding, foaming, and propellants, as well as the use of supercritical CO₂ as a solvent, CO₂ capture via photosynthesis to directly fix carbon into microalgae has also attracted the attention of researchers. The conversion of CO₂ into chemicals and energy products via this approach is a promising way to not only reduce the CO₂ emissions, but also generate more economic value. Since CO₂ is just a source of carbon without hydrogen, a clean, sustainable and cheap source of hydrogen should be developed. This article reviews the literature on the production of biofuel from microalgae cultivated using captured CO₂, the conversion of CO₂ with hydrogen to chemicals and energy products, and sustainable and clean sources of hydrogen, in order to demonstrate the potential of CO₂ utilization.

Keywords: CO₂ utilization; Microalgae; Hydrogen; Chemical; Energy product.

INTRODUCTION

Global warming resulting from the emission of greenhouse gases has received widespread environment and energy attention in the recent years. Among these greenhouse gases, CO₂ contributes over 60% to global warming due to its huge emission amount over 30 Gt CO₂ a year (Albo *et al.*, 2010; IEA, 2012). The CO₂ concentration in atmosphere is now close to 400 ppm which is significantly higher than the pre-industrial level of about 300 ppm (Oh, 2010). To mitigate global warming, Kyoto Protocol urges 37 industrialized nations and European Union to reduce their greenhouse gas emissions to a level of 5.2% on average lower than those of 1990 during the period of 2008 to 2012. However, it has been decided to extend Kyoto Protocol to 2017 or 2020 and the reduction targets are only imposed on European Union (EU) and several other European countries. Copenhagen Accord also requests the global temperature increase be limited to 2°C above the pre-industrial level by 2100. International Energy Agency (IEA) in 2012 pointed out to achieve the ± 2°C goal corresponding to a stable CO₂

concentration at 450 ppm, 43 Gt CO₂ should be reduced to reach 14 billion tons. As a result, several key technologies and strategies are required including the improvement of energy efficiency (43%), renewable energy (28%), CO₂ capture and storage (CCS) technology (22%), etc. (IEA, 2012).

However, since fossil fuels would still be the main sources of energy in the next few decades, it is difficult to reach the target of CO₂ emission even though we are devoting to the improvement of energy efficiency as well as large consumption of low-carbon fuels and renewable energy. Nowadays various technologies have been proposed in order to capture CO₂ effectively and economically, although they are not matured yet for post-combustion power plants (Yu *et al.*, 2012). In addition, public concern remains in the safety of underground and ocean CO₂ storage and the potential locations are still under survey and assessed. As a result, CO₂ utilization using the captured CO₂ from power plants becomes more and more recognized worldwide. It not only reduces CO₂ emission to atmosphere but also generates economic values.

Two categories, direct use of CO₂ and conversion of CO₂ to chemicals, are generally classified in CO₂ utilization. In the past years, CO₂ has been applied in various industries, e.g., soft drink, food, agro-chemistry, welding, foaming, fire-extinguishers, propellant, or as a fluid/solvent in various process like drying-cleaning, separation, water treatment, packaging, etc. Supercritical CO₂ has also been found its

*Corresponding author.
Tel.: +886-3-5721189; Fax: +886-3-5721684
E-mail address: cstan@mx.nthu.edu.tw

growing application as a solvent for reactions, separation, synthesis of nanoparticles or composites and polymer modification. Though such applications of CO₂ utilization are existing and feasible, their market scales are small and therefore generate small impact on the overall CO₂ emission. The direct use of CO₂ to cultivate microalgae is interesting and extensively investigated because microalgae can not only consume CO₂ but also be the feedstock to produce biofuel. The conversion of CO₂ to chemicals and energy products that is currently produced from fossil fuels is also promising due to the high potential market and promising benefits. Table 1 shows the CO₂-recycled products with their potential of CO₂ reduction and market scale. Revenue generated from the utilized CO₂ can also offset a portion of the CO₂ capture cost. Moreover, a closed-loop carbon cycle can be built through these processes. However, CO₂ still has certain disadvantages as a chemical reactant due to its inert, non-reactive, and low Gibbs free energy properties. Each potential conversion of CO₂ requires energy input that needs to be determined; therefore, the life cycle assessment of such utilization process or concepts must be applied to ensure a neutral or even negative carbon emission.

DIRECT UTILIZATION OF CARBON DIOXIDE VIA MICROALGAE

CO₂ capture via photosynthesis to directly fix carbon into microalgae is nowadays a promising technology and has been extensively studied. The direct utilization of CO₂ via microalgae exhibits many advantages, although the cultivation of microalgae at an industrial scale is still expensive. For example, microalgae use CO₂ as their main building blocks and grow very fast with doubling their biomass volume in less than 24 h for most species. They show much potential in CO₂ mitigation because 1.8 ton CO₂ can be fixed via cultivating 1 ton microalgae (Acien Fernández *et al.*, 2012). Recent reviews addressed the conversion of CO₂ into biomass via microalgae, the conversion rates of CO₂ were 36 g/m²/day (Acien Fernández *et al.*, 2012) and 600 g/m²/day (Farrelly *et al.*, 2013). Accordingly, a land of 50,000 m² or a reactor of 3,000 m³ is required to produce 1 ton microalgae with a conversion rate of 1.8 ton CO₂ for practical application. In addition to the direct fixation of CO₂ via cultivation, the harvested microalgae also show enormous potential in the production of energy, food, chemicals and valuable nutrients. Moreover, the photosynthesis of microalgae accompanies with the precipitation of CaCO₃, a potentially long-term and stable storage of CO₂ (Aresta *et al.*, 2005). As a result, these advantages and potentials make microalgae a suitable candidate to solve CO₂ and energy issues because of their potentially high capability of CO₂ mitigation as well as high additional values as biomass in biofuel production. In addition, the net CO₂ emission is assumed to be essentially zero if CO₂ released from the biomass-derived energy can be recycled and reused by cultivation of microalgae.

It is promising to cultivate microalgae directly using the flue gases from fossil fuel power plant, the highest CO₂ emission source, or other industries like steel, cement, and petrochemical industries. Microalgae productivity increases

Table 1. Potential of CO₂ reduction and market scale for CO₂-recycled products.

Product	Reaction	Potential of CO ₂ reduction (ton CO ₂ /ton of product)	Market scale (annual)	Reference
Microalgae		1.8	Global demand: 1.350 MT (refer to bioeconomics)	Tan, 2013
Urea	2NH ₃ + CO ₂ → [H ₂ NCOO][NH ₂] [H ₂ NCOO][NH ₂] → NH ₂ C(=O)NH ₂ + H ₂ O	0.735-0.75	Global production: 198.4 MT Market value: \$22.2 billion	Heffer and Pfand'Boesme, 2013 Tan, 2013
Polycarbonate	CO ₂ + Propylene Oxide → Polycarbonate	0.5	Global demand: 3.6 MT Market value: \$14.4 billion	
Methanol	CO ₂ + 3H ₂ → CH ₃ OH + H ₂ O	1.375	Global production: 75 MT Market value: \$3.6 billion	Methanol Institute, 2013 Tan, 2013
Dimethyl carbonate (DMC)	2CH ₃ OH + CO ₂ → (CH ₃) ₂ C=O + H ₂ O R ₁ R ₂ C(OMe) ₂ + CO ₂ → DMC + R ₁ OR ₂	1.467	Global demand: 0.24 MT Market value: \$280 million	
Dimethyl ether (DME)	CO ₂ + 3H ₂ → CH ₃ OH + H ₂ O 2CH ₃ OH → CH ₃ OCH ₃ + H ₂ O CO ₂ + H ₂ → CO + H ₂ O	1.913	Global demand: 63 MT Market value: \$3.2 billion	Tan, 2013

with CO₂ concentration in feed stream; however, the productivity decreases at high CO₂ concentration levels (above 20%) (Farrelly *et al.*, 2013). It is reported that pH significantly affects the physiology of microalgae. Generally, the optimum conditions for the growth of microalgae are at pH 7 and 8, respectively, while most microalgae hardly grow at pH below 4 or above 9. The increase of CO₂ concentration lowers the pH values in the cultivation media and high purity CO₂ gas therefore is not demanded for cultivation of microalgae. Moreover, pH value increases with biomass concentration. As a result, a careful pH management during cultivation especially in the early stages is critical for the growth of microalgae (Farrelly *et al.*, 2013).

As for fossil fuel power plant, the flue gases typically contain not only CO₂ but also CO, NO_x, SO_x, N₂, H₂O and excess O₂. SO_x greatly restrains the growth of microalgae and stops the growth in a level of 50 ppm of SO_x. It is considered that a reduction in pH value in the presence of SO_x rather than the toxicity of SO_x inhibits the growth because the growth is not restrained when pH value is back following by the introduction of NaOH (Matsumoto *et al.*, 1997). NO_x, especially NO, can be an effective nutrient for microalgae. However, it is also reported that the addition of NO and NO₂ at early stage would restrain the growth. This is due to NO_x acts in a similar way to SO_x by decreasing pH value in the media. Temperature is another significant factor in microalgae cultivation. High temperature flue gases usually raise the issue of cooling cost as well as water evaporation during cultivation. As a result, mesophilic microalgae with high tolerance to CO₂ are commonly used in the optimum temperature range of 13–45°C (Farrelly *et al.*, 2013).

Once harvested, microalgae as the biomass can produce lipids, protein and carbohydrates, which can be further utilized to produce energy, food, chemical and nutrient. Microalgae are generally transformed into energy via direct combustion, thermochemical, photochemical or biochemical processes, such as reforming, gasification, pyrolysis, fermentation, transesterification, etc. In addition, the emission of hydrocarbons and carbon monoxide through the conversion of microalgae into energy are largely reduced. SO_x can also be eliminated because microalgae are free of sulphur. Among the various forms of energy, microalgal biofuels are particularly attractive, which are typically generated from conversion of the extracted microalgal lipids (i.e., crude lipids or total fatty acids of microalgae) by transesterification. Until now, the microalgal biofuel production is still not so economical, a major reason is that large energy is consumed in the lipid extraction from algal cells and the transesterification process. Most matured microalgae are composed of water and lipids are generally enveloped by the tough cell wall, thus hindering the oil extraction from microalgae. The efficiency of transesterification reaction depends on the type of catalysts and the operating conditions. For this reason, efficient extraction and transesterification in addition to cultivation and harvest of microalgae are the key processes in microalgal biofuel production. To improve production yield, various extraction methods have been reported including conventional

solvent (for example, hexane) extraction, accelerated solvent extraction (using organic solvents at high pressures and temperatures above the boiling point) and supercritical fluid extraction (Cheng *et al.*, 2011; Mouahid *et al.*, 2013).

Supercritical fluids (SCFs) defined as a substance at a temperature and a pressure above its critical point have been widely applied in a variety of physical and chemical processes like extraction, reaction, material synthesis, etc. SCFs possessing gas-like viscosities and extremely low surface tensions allow them to penetrate through cell wall of microalgae, thus making extraction of lipids much easier (Huang *et al.*, 2013). In addition, SCFs can be employed without dewatering of microalgae. Among SCFs, supercritical methanol and ethanol are generally used and capable of simultaneous extraction and conversion of oils from microalgae into biofuels. CO₂ under supercritical or near supercritical condition ($P_c = 7.38$ MPa, $T_c = 31.2^\circ\text{C}$), considered as a non-toxic, non-flammable, inexpensive and environmentally friendly solvent with tunable properties, is also used as both the medium for oil extraction and the co-solvent coupled with alcohols in transesterification. SCF extraction of microalgal oils is far more efficient and powerful than the traditional separation methods.

In general, microalgae exhibit a number of advantages over other plant feedstock in CO₂ capture and utilization concerned with (1) high photosynthetic conversion, (2) rapid production, (3) high capacity to produce a wide variety of biofuel feedstock, (4) high capability of environmental bioremediation such as CO₂ fixation from atmosphere/flue gas and water purification, and (5) non-competitiveness for land with crops and food. In view of CO₂ mitigation, CO₂ can directly be utilized in both extraction and transesterification processes in which pure CO₂ at supercritical condition is used as solvent and co-solvent, respectively. Moreover, CO₂ can indirectly be applied in the cultivation of microalgae as well, making microalgae a potential alternative to solve energy and environmental issues.

CARBON DIOXIDE TO CHEMICALS

CO₂ is a major greenhouse gas, however it can also be considered as an important carbon source to produce valuable chemicals and fuels via CO₂ hydrogenation, CO₂ cycloaddition to epoxides, CO₂ carbonylation of amines or alcohols, and the like (Dai *et al.*, 2009; Razali *et al.*, 2012). Several innovative technologies as selectively transform CO₂ into highly valuable materials by alternating copolymerization of CO₂ with other organic compounds, have been developed for industrial applications and are accessible to markets. An excellent review by Song (2006) had addressed the barriers, strategic objectives, and approaches for CO₂ capture and utilization. The barriers for CO₂ utilization are as follows: (1) cost of CCS techniques; (2) energy requirement in CO₂ conversion; (3) market scale; (4) socio-economical driving force. The strategies of CO₂ utilization should focus on the use of CO₂ for the environmentally benign process, the production of industrially useful chemicals from CO₂, and the CO₂ recycling involving renewable energy to conserve carbon sources.

Anexo 19. Soca, J. (2021). *Emisiones contaminantes de los motores de combustión interna.*

Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/357753927_EMISIONES_CONTAMINANTES_DE_LOS_MOTORES_DE_COMBUSTION_INTERNA 11-12

derivadas del cambio de uso del suelo. Los océanos han absorbido alrededor del 30% del dióxido de carbono antropógeno emitido, provocando su acidificación.

Las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han aumentado desde 1750 debido a la actividad humana. En 2011, las concentraciones de estos gases de efecto invernadero eran de 391 ppm, 1 803 ppm y 324 ppm, respectivamente, valores que excedían los niveles preindustriales en aproximadamente el 40%, el 150% y el 20%, respectivamente. Las emisiones anuales de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles y la producción de cemento fueron de 8,3 GtC año⁻¹, promediadas entre 2002 y 2011, y de 9,5 GtC año⁻¹ en 2011, un 54% por encima del nivel correspondiente a 1990. Las emisiones netas anuales de CO₂ antropogénicas producidas por el cambio de uso del suelo fueron, en promedio, de 0,9 GtC año⁻¹ durante el período de 2002 a 2011. De 1750 a 2011, las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión de combustibles fósiles y la producción de cemento liberaron 375 GtC a la atmósfera, y se estima que la deforestación y otros cambios de uso del suelo han liberado 180 GtC. Esto genera unas emisiones antropogénicas acumuladas de 555 GtC. De esas emisiones de CO₂ antropogénicas acumuladas, se han acumulado 240 GtC en la atmósfera, 155 GtC han sido incorporadas al océano y 160 GtC se han acumulado en ecosistemas terrestres naturales (ver figura 6).

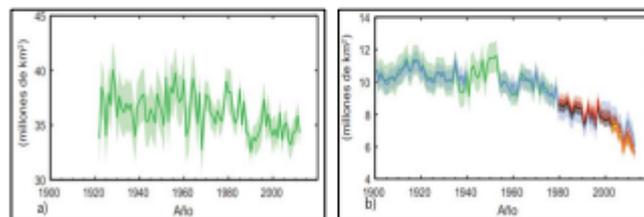


Figura 4. a) Manto de nieve en primavera en el hemisferio norte, b) Extensión del hielo marino en verano en el Ártico (ICCP, 2013).

Impulsores del cambio climático: El forzamiento radiativo total es positivo y ha dado lugar a la absorción de energía por el sistema climático. La principal contribución al forzamiento radiativo total proviene del aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera que se viene produciendo desde 1750. El forzamiento radiativo antropógeno total de 2011, en relación con 1750, es de 2,29 W m⁻² y ha aumentado más rápidamente desde 1970 que en decenios anteriores. El forzamiento radiativo provocado por las

emisiones de gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados (CO_2 , CH_4 , N_2O y halocarbonos) de 2011, en relación con 1750, es de $3,00 \text{ W m}^{-2}$. El forzamiento radiativo derivado de cambios en las concentraciones de estos gases es de $2,83 \text{ W m}^{-2}$.

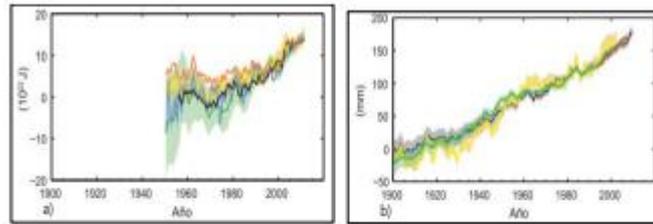


Figura 5. a) Cambio en el contenido medio de calor global en la capa superior de los océanos, b) Cambio del nivel medio del mar (ICCP, 2013).

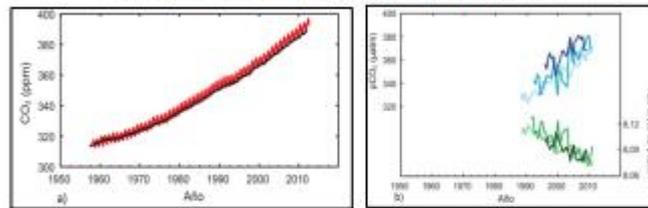


Figura 6. a) CO_2 atmosférico, b) presión del CO_2 y pH en el océano superficial (ICCP, 2013).

A modo de conclusión en esta breve caracterización del cambio climático se resume que la influencia humana en el sistema climático es clara. Es evidente las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, el forzamiento radiativo positivo, el calentamiento de la atmósfera y el océano, alteraciones en el ciclo global del agua, en reducciones de la cantidad de nieve y hielo, en la elevación media mundial del nivel del mar y en cambios en algunos fenómenos climáticos extremos.

1.1.2 Las emisiones contaminantes

La liberación directa de los componentes de los gases de escape de los procesos de combustión en el medio ambiente, es decir, la *emisión*, es el proceso principal y más importante en la cadena de emisión, transmisión, entrada de contaminantes e impacto.

temporales de los procesos que conllevan al cambio global son variadas: algunos, como la deforestación son a escala regional y puede ser medida en días, otros, como el calentamiento global y el cambio climático cubren todo el planeta y se manifiestan en períodos que van desde el decenio hasta milenios.

2.6 OSCURECIMIENTO GLOBAL² (Un problema ecológico desconocido hasta ahora, pero que puede ser tan grave como el calentamiento global)

Es un hecho: la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre, se ha reducido gradual y globalmente, hasta un 10%, debido a la contaminación atmosférica, con consecuencias imprevisibles para la Tierra. A este fenómeno se le ha denominado **Oscurecimiento Global**. Es un fenómeno real que, a pesar de haber sido claramente observado y estudiado desde hace dos décadas, es muy poco conocido por el público, los gobiernos e incluso por la propia comunidad científica.

La combustión de fuentes de energía fósiles, como el carbón y el petróleo, no sólo genera dióxido de carbono y demás gases de efecto invernadero, sino que además libera a la atmósfera pequeñas partículas de ceniza, hollín y compuestos de azufre que reflejan la luz solar al espacio, disminuyéndola en su viaje al alcanzar la superficie terrestre, provocando lo que se conoce como «efecto espejo» y causando un efecto de enfriamiento.

Esta contaminación atmosférica ha reducido en un 10%, durante los últimos 50 años, la radiación solar incidente terrestre, afectando directamente a la fotosíntesis, al comportamiento, formación y composición de las nubes e implícitamente potenciando las sequías, y lo más grave de todo: su efecto de enfriamiento ha contrarrestado el calentamiento global, encubriéndolo, lo cual nos ha llevado a subestimar e infravalorar el impacto del efecto invernadero y los verdaderos alcances del calentamiento global en general.

Pero, este fenómeno aún es motivo de debate porque muchos consideran que solo se trataría de un problema localizado en algunas zonas contaminadas. De ser así, eso no significaría una alteración de la temperatura de todo el planeta, sino solamente en aquellas zonas afectadas por el oscurecimiento (Revista Portafolio 17-julio -2007).

Los diversos antecedentes que se describen a continuación, muestran cómo las conclusiones de distintos científicos en distintas partes del mundo, con métodos completamente diferentes de medición y sin conocerse entre sí, han llegado a la misma conclusión.

El climatólogo japonés Atsumu Ohmura fue el primero en intuir el oscurecimiento global en 1989, basándose en la radiación solar y el balance energético de la tierra.

² Tomado de la revista natural (www.revistanatural.com). Fecha del artículo 30/5/2006

Formó un grupo de investigadores del clima global, y los resultados fueron en parte la base de un informe que reveló a finales de los años 80, la existencia de una disminución considerable de la luz solar que alcanza la superficie del planeta con respecto al nivel de 1960, y a raíz de ello, algunos científicos se dieron a la tarea de encontrar las posibles causas.

Las observaciones de Gerry Stanhill en 1992, especialista de regadíos en Israel, han sido contundentes: observó el fenómeno partiendo de una reducción significativa de la tasa de evaporación en un tanque, es decir, la cantidad de agua que se evapora de un tanque expuesto al sol disminuyó progresivamente. Contrariamente a lo que se pudiera esperar debido al calentamiento global, ya que **la evaporación del agua no depende de que las temperaturas se hayan incrementado en el planeta ni de la humedad, sino que depende de la radiación solar directa que recibe, porque son los fotones de la luz, que al impactar sobre la superficie del agua, aportan la energía suficiente para que éstos se desprendan del resto de moléculas a las que se encuentran enlazados por los puentes de hidrógeno.** Por lo tanto, la única explicación posible a dichas mediciones, es que cada vez recibimos menos radiación solar.

La misma tendencia fue observada y corroborada por agricultores y meteorólogos de todo el mundo, si bien con variaciones en cada zona, la reducción de evaporación era clara y progresiva.

Otros estudios reforzarían aún más dichas conclusiones, por vías completamente distintas. Experimentos realizados en el archipiélago de las Maldivas, comparando la atmósfera de las islas situadas en el norte con las del sur, mostraron que los efectos contaminantes de la atmósfera de aquel entonces, provenientes del norte desde la India, producían aproximadamente una reducción del 10% de la luz solar que alcanzaba la superficie en la zona bajo la nube contaminada (lo que supone una reducción bastante mayor a la esperada por la sola presencia de las partículas contaminantes). Antes de emprender dichas investigaciones, las predicciones apuntaban a que los aerosoles antrópicos (las partículas suspendidas contaminantes) sólo contribuían entre un 0,5% y un 1% al efecto. La enorme variación observada contra la predicción se explica porque en la formación de nubes contaminadas las partículas actúan como núcleos de condensación de un número mayor de gotas aunque de menor tamaño, creando nuevas nubes, que son más eficaces reflejando la luz de vuelta al espacio.

Por otro lado, un grupo dirigido por Martin Wild en el instituto Federal de Tecnología Suizo en Zurich, sede del archivo de la BSRN (Baseline Surface Radiation Network), comenzaron una investigación mediante un sondeo de mediciones y cálculos conducidos por el Programa de Mediciones de la Radiación Atmosférica, que ha sido crucial, ya que revela que la superficie del planeta ha aumentado su luminosidad en un 4% durante la pasada década. Esta tendencia alcista del brillo planetario está corroborada por diversos datos, incluyendo varios análisis por satélite. Lo cual viene a corroborar que la contaminación de las partículas suspendidas en las nubes hacen

que éstas reflejen mucha más luz solar que las nubes limpias devolviéndola al espacio, aumentando el brillo planetario.

Años después, se realizaron otras investigaciones en un suceso puntual muy esclarecedor que vendría a demostrar lo que se esperaba...

En los 3 días posteriores a los atentados de las torres gemelas del 11 de septiembre, al cerrarse el espacio aéreo estadounidense, se incrementó la temperatura media considerablemente en 1,2 grados centígrados en todo el país, (algo que no se observaba desde hacía décadas) al disminuir las estelas de humo altamente contaminante de los reactores que dejan los aviones y que forman las nubes reflectantes –por tratarse de un residuo de la combustión de un hidrocarburo, o sea de un combustible fósil–.

Recientemente en el congreso anual de la Unión Geofísica Americana en Montreal, una parte de la comunidad científica por primera vez ha puesto al descubierto la gravedad del asunto de manera oficial y mundial, mostrando su seria preocupación, pues apenas ahora se está tomando conciencia de que el oscurecimiento global es una terrible realidad.

El oscurecimiento global, más que probablemente, puede haber causado cambios a gran escala en los patrones climáticos, ya que su impacto es diverso. **Al haber menos radiación solar, hay menos evaporación del agua y menos formación de nubes, y por consiguiente menos precipitaciones, agravando más a las zonas áridas** ya de por sí afectadas por el calentamiento global y para que éstas produzcan las cosechas deseadas requieren de más energía, que contamina aún más, y esta energía es menos disponible por la disminución en el nivel de las represas, cerrando el círculo vicioso.

El oscurecimiento global está afectando al ciclo del agua y en general al comportamiento de las nubes. Los modelos climáticos sugieren que estos cambios han intervenido en la falta de monzones en el África subsahariana durante las décadas de los 70's y los 80's que provocaron las graves crisis y hambrunas múltiples. En su momento se culpó a la tala inmoderada de árboles y la mala gestión de tierras, hoy se sabe y se considera una pequeña muestra de lo que puede ser el oscurecimiento global.

La composición de la atmósfera y de las nubes está cambiando, convirtiéndose en un espejo reflectante que reduce el paso de la luz solar, afectando también a la fotosíntesis de toda la vegetación planetaria ya que el fenómeno es global. De manera que hemos puesto en jaque al ecosistema del planeta, mientras que el calentamiento global provoca más lluvias en las zonas húmedas, y más sequía en las áridas, el oscurecimiento global provoca menos precipitaciones, reforzando aún más las sequías lo cual es muy grave para las zonas áridas. Y por otro lado enfría, lo que de momento nos ha ayudado a que el calentamiento global sólo nos muestre una máscara amable. Pero si dejamos de arrojar la contaminación que le quita

transparencia a la atmósfera, liberamos la cara feroz y real del calentamiento global, las medidas impuestas en los últimos años en la Unión Europea han ayudado a disminuir las emisiones de partículas en industrias y automóviles, si bien han mejorado la calidad del aire, desgraciadamente el calentamiento global ha dejado los veranos más calurosos, especialmente el del 2003 con cifras récord de mortandad en Francia, incendios en toda la península ibérica particularmente en Portugal de norte a sur, importantísimas sequías en España e inundaciones récord en varios países de la Unión.

Políticamente podremos estar divididos, pero ecológicamente estamos entrelazados, la naturaleza no entiende de divisiones y se comporta como un todo. Lo que una zona contamina afecta a otra; la irresponsabilidad de un individuo, un colectivo o un país nos afectan a todos. Para solucionar definitivamente el problema debemos ir al origen del fenómeno, para satisfacer nuestras necesidades energéticas no podemos seguir quemando combustibles fósiles de manera completamente irresponsable como hasta ahora, tenemos que lograr que produzcan residuos totalmente asimilables y biodegradables para la naturaleza sin alterar su equilibrio natural, y además conseguir que esto sea económicamente viable, pero aunque lo lográramos quizás sea ya muy tarde pues los combustibles fósiles están dando claras muestras de agotamiento, está llegando su fin por ser no renovables y su precio no dejará de subir.

Evidentemente para satisfacer la demanda energética, tenemos que optar por fuentes limpias perpetuamente disponibles y viables, como lo son ya las energías renovables como la solar, eólica, biomasa, mareomotriz, geotérmica, micro hidráulica, etc.

En el caso del transporte se debe hacer un plan de cambio urgente para dejar de fabricar nuevos coches y aviones, etc., que se alimenten de hidrocarburos por biocombustibles (ya existentes); para los coches viejos, obligar a usar algún control de emisiones que disminuya las emisiones. E invertir en desarrollar la fuente de energía más prometedora, abundante y limpia conocida hasta ahora para que pueda ser rentable y competitiva: el hidrógeno, con capacidad de abastecer todo el consumo necesario del planeta (industrias, viviendas, transporte, centrales eléctricas, etc.), en lugar de invertir cantidades astronómicas en centrales nucleares.

De esta manera solucionaríamos el oscurecimiento global y aún más: se contribuiría en gran medida a solucionar el calentamiento global y se mejoraría la salud y equilibrio general de la Tierra.

Anexo 21. Kennedy, D., & Bates, R. (1988). *Air Pollution, the Automobile, and Public Health*. Obtenido de [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK218138/#:~:text=Mathematical%20models%20used%20in%20air,only%20implicitly%20\(Seinfeld%201975\).](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK218138/#:~:text=Mathematical%20models%20used%20in%20air,only%20implicitly%20(Seinfeld%201975).)

Source/Receptor Relationships

The most direct method for observing the effect of a single air pollution source is to eliminate it completely, but complete elimination is usually impractical or impossible. A more feasible method is needed to predict the impacts of emission sources on air quality. Two distinctly different methods have been developed for making such predictions: mathematical models and physical models. A mathematical air quality model simulates pollutant evolution by interrelating symbolic descriptions of the important physical and chemical processes occurring in the atmosphere within a computational framework. A physical model simulates atmospheric processes with a scaled-down representation of the atmosphere in a laboratory setting. The most common example of a physical model is a smog chamber used to study atmospheric chemistry. Another example is wind tunnel testing using scale models of buildings to observe the transport of pollutants in city street canyons.

Mathematical models have a number of advantages over physical models when the question is to find out how much of each air pollutant at a given location is due to each particular emission source—a process called source apportionment. For example, smog chambers can only be used to study atmospheric chemical reactions in a fixed location and are not suited to simulate the effects of diffusion, changing spatial and temporal emission patterns, pollutant deposition at the ground, and varying meteorological conditions. On the other hand, by accurately describing the dynamics of pollutants as they travel from the many emission sites in a city to a sampling, or receptor, site, a mathematical model can keep track of the separate contributions of the sources of pollutants that influence air quality at a given location. The inputs to the calculation are the pollutant emission rates, and the output is the expected concentrations of the several atmospheric pollutants (figure 2).

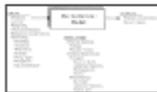


Figure 2.

Inputs, outputs, and types of models commonly used in air quality modeling studies.

Mathematical models used in air pollution analysis fall into two types: empirical/ statistical and analytical/deterministic. In the former, the model statistically relates observed air quality data to the accompanying emission patterns, whereas chemistry and meteorology are included only implicitly (Seinfeld 1975). In the latter, analytical expressions describe the complex transport and chemical processes involving air pollutants. The pollutant concentrations are determined as explicit functions of the meteorology, topography, chemical transformation, and source characteristics, which are inputs to the calculation.

The subject matter of this chapter necessarily overlaps that of other chapters of this book. To minimize duplication, this chapter focuses on how mathematical models are used to predict pollutant concentrations as a function of emissions. Greatest attention is given to pollutants that are either known to be or suspected of being harmful to human health and to modeling on a scale appropriate to urban areas where pollutant concentrations and population densities are highest.

Our discussion begins with a section devoted to understanding the physical and chemical nature of the emissions, for these, in part, determine important characteristics that should be described by a mathematical model. Because of chemical reactions in the atmosphere, the dynamics of some automotive emissions and reaction products depend on the presence of other anthropogenic and natural sources, and it is often insufficient to consider one without the other. After the important emission source types have been identified, it is necessary to choose an appropriate model for each application. The different types of air quality models that are available are reviewed in the next section along with possible advances that could be made in their structure and application.

The section on modeling approaches presents our current understanding of the various individual physical and chemical processes (for example, transport, chemical reaction, dry deposition) that affect pollutant concentration in the atmosphere. A model's capabilities are determined by the level of detail at which each of the processes is described within the modeling framework. Many future advances in air quality modeling will come from better quantitative descriptions of individual processes, so a number of topics for fruitful research evolve from this section. The theoretical basis and accuracy of the complete model, each of its components, and the structure interrelating the components must be evaluated, as described in the succeeding section.

After a model has been evaluated, it is ready for use in conducting source apportionment, population exposure, and control strategy studies, as discussed in the next section. Studies of this type are of great interest, but few comprehensive control strategy studies have been conducted using state-of-the-art air quality models. Finally, a section addressing special topics and emerging issues in air quality modeling is followed by a summary of research recommendations.

Historical Perspective

The driving force behind the development of mathematical air quality models has been the Clean Air Act (American Meteorological Society 1981). Models have been used to demonstrate compliance with regulatory standards and to guide regulatory agencies toward possible emission control strategies for improving air quality. Air quality models motivated by the Clean Air Act are designed primarily to predict the concentrations of pollutants such as carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) that have been regulated by the federal government for many years, but not those of many trace toxic pollutants that are already of growing interest to health effects researchers and are likely to be subject to regulation in the future.

By the early 1970s, analytical models had been developed to the point that it was possible to predict the concentrations of pollutants such as CO that are largely determined by transport but not by atmospheric chemical reaction. The next step was to incorporate atmospheric chemistry into the model to describe the dynamics of pollutants, such as O₃ and NO₂ that are chemically active in the atmosphere (see, for example, Transportation Research Board 1976). By the early 1980s, photochemical airshed models had been developed that could accurately predict O₃ and NO₂ concentrations as a function of emissions. At present, a limiting factor in our ability to describe the dynamics of these two pollutants in an urban area is the availability of high-quality input data, not the model itself.

Deterministic Models

Deterministic air quality models describe in a fundamental manner the individual processes that affect the evolution of pollutant concentrations. These models are based on solving the atmospheric diffusion/reaction equation, which is in essence the conservation-of-mass principle for each pollutant species (Lamb and Seinfeld 1973):

$$\begin{aligned} \frac{\delta c_i}{\delta t} + \bar{U} \cdot \nabla c_i &= \nabla \cdot D_i \nabla c_i \\ &+ R_i(c_1, c_2, c_3, \dots, c_n) \\ &+ S_i(\bar{x}, t) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \end{aligned}$$

(4)

where c_i is the concentration of species i ; \bar{U} is the wind velocity vector; D_i is the molecular diffusivity of species i ; R_i is the net production (depletion if negative) of species i by chemical reaction; S_i is the emission rate of i from sources; and n is the number of species. R can also be a function of the meteorological variables. In essence, this equation states that the time rate of change of a pollutant (term 1) depends on convective transport (2), diffusion (3), chemical reactions (4), and emissions (5). As discussed in the chapter on pollutant transport (Samson, this volume), the closure problem makes it necessary to approximate this equation, usually by K -theory (Lamb 1973):

Anexo 22. Gowda, K. (2014). *Analysis of Underground Parking Structure*. Obtenido de International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development: https://www.researchgate.net/publication/280132453_Analysis_of_Underground_Parking_Structure

Analysis of Underground Parking Structure

ChetanVaidya¹, KeerthiGowda B.S²

¹PG Student, Department of Structural Engineering, VTU PG Studies, Mysore.

²Assistant Professor, Department of Structural Engineering, VTU PG Studies

ABSTRACT

Ever since the 1960s, parking has turned out to be a major user of developable land. Multi-storey car parks, underground or basement car parks, and car parks in a multi-function building are common. Even though multi-storey car parks are mainly found in city and town centers, they as well feature in airports, retail centers, conference centers, hotels, housing developments, places of employment (both offices and factories), places of entertainment, railway stations, and sports facilities.

Underground parking provides many long-term benefits such as preserving prime real estate, offering convenient, centrally located parking, and removing parking structures from street frontage.

Deep underground basements that are integrated into urban development projects early in the overall project design offer many inherent improvements to the overall quality and value of the project and its surrounding community.

Understanding the primary design and construction issues is significant while planning an underground parking structure. The current study involves the seismic behavior of reinforced concrete buildings with multiple underground stories. The study involves analyzing the behavior of the ramps and decks due to single vehicle movement and multi vehicle movement and also the vehicle impact into a column.

Key words: Parking structure, Ramps, Vehicle Impact

Corresponding Author: ChetanVaidya

INTRODUCTION

Parking structures are one of the most conspicuous "solutions" to a society's parking challenges. In a number of cases parking structures are the best solution and numerous cases are present where parking structures make sure improved parking conditions, the global transportation network and quality of the neighborhood, also allowed for transit oriented development that would not take place otherwise[1]. At the same time, if not properly evaluated, parking structures can be built in places and in methods that have significant negative impacts

Effective parking structures are designed to meet the consumer's demands, which usually take account of feeling safe and welcome, and more knowing that their cars are in a secure environment. Given the choice, people all the time park in light and bright car park where they feel their car and its contents will be safe and secure.

This design procedure is influenced by the parking purpose, how frequently consumer's visit, payment and control systems, and connection to the external highway

network[2]. Hence, for short-stay parking such as for shoppers – where higher dynamic and turnover capacities are required – wider bays are recommended.

Underground structures are constrained by the neighbouring soil or rock and cannot move independently so they are not generally subjected to significant dynamic amplification effects. They are usually affected by the deformation of the surrounding ground and not by the inertia forces acting on the structure[3].

Many factors influence whether a user will find the car park easy to use and be comfortable in the car park. The most important elements are outlined below:

- Size of car park and ease of circulation
- Layout in terms of column spacing, ability to find available spaces easily, aisle and ramp widths, headroom and ramp gradients
- Safety and security
- Level of visibility
- Lighting
- Quality and style of internal surface finishes
- Clear and concise user information and signage.

MATERIALS AND METHODS

Modeling of Structure

The plan layout of the underground RC frame building, chosen for this study is shown in Fig. 1 by SAP2000. The overall plan layout of the building is 58.5m X 34.5m and external circular ramp with an inner diameter of 5.5m and outer diameter of 10.5m. The number of underground storeys considered in this study is 3. All the buildings are assumed to be fixed at ground level and the storey heights is 3.5m. Taking concrete grade M30, Steel of grade FE 415 and the poisson's ratio is 0.2 has been assumed for analyses of all the models.

A minimum clear height or headroom of 2.10m measured normal to surfaces, for vehicles is provided at entrances, exits, bays, aisles and ramps. The maximum gradients for a vehicle ramps is applied as given in the table 1.

Table 1 –Maximum Gradients for Vehicle Ramps

Ramp Type	Rise	Maximum Gradient
Straight Ramps	Not greater than 1.50m	1:6
	Greater than 1.50m	1:10
Curved Ramps	Not greater than 3.0m	1:10
	Greater than 3.0m	1:12

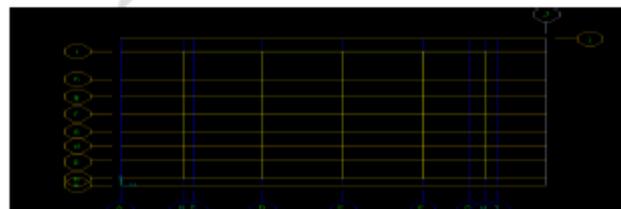


Fig. 1: Typical Structural plan Layout

CAPÍTULO 1

CONCEPTOS GENERALES

Puede definirse la ventilación como aquella técnica que permite sustituir el aire ambiente interior de un local, considerado inconveniente por su falta de pureza, temperatura inadecuada o humedad excesiva, por otro exterior de mejores características.

La ventilación es un método común para reducir la exposición de las personas a los contaminantes que se srcinan en los procesos industriales y evitar así enfermedades profesionales. Es útil también para controlar el calor, la toxicidad o la potencial explosividad de su ambiente. La ventilación es una buena solución cuando las modificaciones en los procesos u otros métodos de control no son efectivos.

El objetivo principal de la ventilación industrial es mantener la calidad y el movimiento del aire en los lugares de trabajo en condiciones convenientes para la protección de la salud de los trabajadores. Complementariamente, contribuye al bienestar físico y a la mejora del rendimiento en la actividad desarrollada.

El hombre sólo puede vivir en una atmósfera cuyas características se encuentren dentro de límites restringidos. El aire en los lugares de trabajo deberá cumplir con los siguientes requisitos [1]:

- El contenido de oxígeno no deberá ser inferior al 19% en volumen.
- Las concentraciones de los contaminantes en el aire deben ser inferiores a los límites permisibles establecidos por la OSHA (Occupational Safety & Health Administration).
- El índice de estrés térmico del ambiente de trabajo debe ser inferior a los límites admisibles establecidos en los Reglamentos de Higiene y Seguridad en el Trabajo.

En tanto que la ventilación aplicada a las viviendas, oficinas y locales de uso público tiene como objetivo la creación de condiciones de bienestar y la eliminación de olores y bacterias. La ventilación industrial se ocupa del control de la enorme variedad de sustancias que pueden contaminar al aire en los locales de trabajo y que se srcinan en procesos productivos; asimismo, se utiliza para evacuar el calor que pueden generar dichos procesos [1].

Hay dos tipos principales de ventilación: la ventilación general y la ventilación exhaustiva local. La ventilación general busca la renovación y control del aire en la totalidad de un ambiente, en tanto que la ventilación localizada trata de crear condiciones particulares en sectores delimitados del mismo [1]. La figura 1.1 ilustra los diferentes tipos de ventilación.

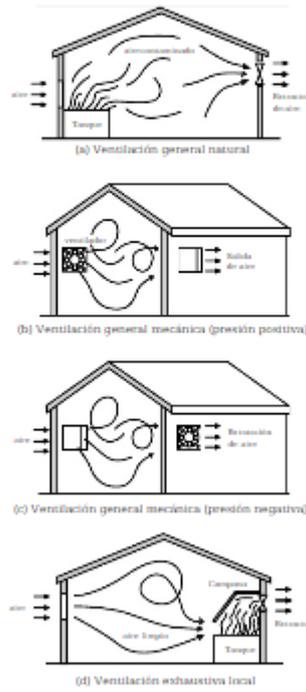


Figura 1.1. Tipos de ventilación.

Fuente: Salvador Escoda S.A. Manual práctico de ventilación. 2ª edición. Barcelona, 1998.

1.1 VENTILACIÓN GENERAL

Consiste en el ingreso al local de un caudal de aire limpio exterior, calculado para diluir los contaminantes y reducir sus concentraciones a valores inferiores a los límites permisibles. En este tipo de ventilación, el aire que entra al local se propaga por el mismo antes de alcanzar la salida y los contaminantes presentes en el lugar de trabajo se mezclan con el aire que fluye a través del salón. Este tipo de ventilación tiene el inconveniente de que, de existir una fuente de contaminación concreta, el aire esparce el contaminante por todo el local antes de ser captado hacia la salida. Se puede utilizar el movimiento de aire inducido en forma natural o mecánica para diluir los contaminantes hasta concentraciones inferiores a los límites ambientales permisibles para cada sustancia (ver figura 1.1). También se utiliza la ventilación general para controlar ambientes con calor.

Este tipo de ventilación es aplicable cuando en un local existen numerosas fuentes de contaminación dispersas, o cuando las fuentes son móviles. Su aplicación está limitada por la toxicidad y por la cantidad de contaminantes generados que, cuando superan ciertos valores, determinan la necesidad de caudales de aire que no son técnica o económicamente factibles [1].

El cálculo del caudal para la ventilación general, necesario para la dilución de los contaminantes, requiere el conocimiento del régimen de generación de éstos. En correspondencia es sumamente difícil, en general, cuantificarlos.

La ventilación general tiene como objeto el mantenimiento de la pureza y de unas condiciones en el aire de un local determinado, es decir, mantener la temperatura y un nivel de contaminantes dentro de los límites admisibles para preservar la salud de los trabajadores.

La concentración permisible para el cálculo debe incluir un factor de seguridad que tome en cuenta la distribución desigual de los contaminantes en el local. Es también aconsejable favorecer los movimientos convectivos localizados que tienden a unificar dicha distribución [1].

La ventilación en los locales de trabajo debe contribuir a mantener condiciones ambientales que no perjudiquen la salud del trabajador. A su vez, los locales deben poder ventilarse perfectamente en forma natural [2]. La tabla 1.1 establece la ventilación mínima de los locales, en función del número de personas.

Cuando exista contaminación de cualquier naturaleza o condiciones ambientales que pudieran ser perjudiciales para la salud, tales como calor, vapores, gases, nieblas, partículas u otras impurezas en el aire, la ventilación debe contribuir a mantener permanentemente en todo el establecimiento las condiciones ambientales y en especial la concentración adecuada de oxígeno y

la de contaminantes dentro de los valores admisibles y evitar la existencia de zonas de estancamiento [2].

Tabla 1.1. Ventilación mínima requerida en función del número de ocupantes.

Volumen del local (m ³ /persona)	Caudal de aire necesario (m ³ /h - persona)	
	Actividad sedentaria	Actividad moderada
3	43	65
6	20	43
9	21	31
12	15	23
15	12	18

Fuente: Estrucplan. Ventilación industrial. En: <http://www.estrucplan.com.ar>.

A su vez, cuando existan las anteriores condiciones se debe contemplar la necesidad de implementar equipos de control, captando los contaminantes a través de campanas de extracción, para favorecer las condiciones adecuadas dentro del ambiente laboral.

El aire contaminado se extrae del local mientras se introduce aire exterior para reemplazarlo. El contaminante puede propagarse por todo el recinto y la misión del aire exterior es diluir las impurezas hasta lograr la concentración máxima permisible.

La ventilación puede hacerse por medios naturales o mecánicos. En la ventilación mecánica el aire es extraído de los locales, o es inyectado en ellos, utilizando ventiladores [1].

En cuanto a la renovación natural del aire de los locales, se realiza a través de las diversas aberturas que posean: puertas, ventanas, chimeneas, juntas de los cerramientos, fisuras, entre otras. La circulación del aire se produce por diferencias térmicas y de presión, que pueden ser de origen natural, tales como las debidas a la diferente insolación de las paredes o a la acción del viento, o bien resultan de los procesos industriales (por transferencia de calor o por efecto mecánico).

Si bien la ventilación natural es en parte incontrolable, por estar sujeta a variaciones climáticas imprevisibles, por ejemplo el viento, tiene numerosas aplicaciones en la ventilación de locales industriales, particularmente cuando existen fuentes de calor. Tales son los casos de las industrias siderúrgicas y del vidrio, salones de calderas, centrales térmicas, entre otras [1].

El caudal de aire a extraer se debe calcular en función de las renovaciones por hora. Estas renovaciones dependen de la naturaleza de los locales. La tabla 1.2 muestra algunos ejemplos [2].

Tabla 1.2. Renovaciones de aire según la naturaleza de los locales.

Tipodlocal	Renovacionesdeaireporhora
Bancos	3-4
Bar	8-12
Barridas	15-18
Cafeteríasycomidasrápidas	15-18
Catedrales	0.5
Cines	10-15
Cocinasdomésticas	10-15
Cocinasindustriales	15-20
Cuartosdeño	13-15
Discotecas	10-12
Escuelas	2-3
Estacionamiento subterráneo	6-8
Entrapersonal	5-10
Fundiciones	20-30
Granjasvícolas	6-10
Hospitales	6-8
Iglesiasmodernas(techosbajos)	1-2
Laboratorios	6-12
Lavanderías	20-30
Oficinagenerales	5-6
Panaderías	25-35
Restaurantesgrandes	5-6
Restaurantesmedianos	8-10
Saunas	20-30
Soldaduras	5-8
Talleresde maquinaria	6-10
Talleresde pintura	40-60
Teatros	10-12
Tintorerías	20-30

Fuente: Estrucplan. Ventilación industrial. En: <http://www.estrucplan.com.ar>.

Es recomendable partir de seis renovaciones de aire por hora como mínimo para calcular el caudal de aire a extraer, ya que éstas aseguran la eliminación de la contaminación provocada por las personas [2].

Para ventilar un local por el sistema de ventilación general, lo primero que debe considerarse es el tipo de actividad de los ocupantes del mismo. No es lo mismo una oficina moderna, espaciosa, con bajo índice de ocupación, que una cafetería, un salón social, un taller de confección o de pintura [3].

Pero si se hace difícil prever el número de ocupantes y se cree mejor referirse a la función del local, puede recurrirse al cálculo basado en el número de renovaciones por hora, esto es, las veces que debe renovarse el aire por hora de todo el local (tabla 1.2).

Para su cálculo se determina primero el volumen del local, multiplicando el largo por el ancho y por el alto, en caso de que sea un paralelepípedo, o descomponiendo el volumen total en figuras simples.

$$V = LAH \quad (1)$$

En la cual:

V = Volumen del local, m³.

L = Largo del local, m.

A = Ancho del local, m.

H = Altura del local, m.

Los locales se deben ventilar para proporcionar un ambiente higiénico y confortable a los ocupantes, ya que se estima que las personas permanecen dentro de locales aproximadamente un noventa por ciento de su tiempo. Hay que disipar el olor corporal, controlar la humedad, el calor y evacuar la contaminación que desprenden algunas fuentes como el humo del cigarrillo, además de la resultante de las eventuales actividades industriales [3].

Una forma de proceder es calcular el caudal de aire necesario con base en el número de ocupantes y en razón a 7.5 L/s-persona para los casos en los que no sea significativa la contaminación generada por actividades ajenas a las personas [3].

Se escoge luego el número de renovaciones por hora, según sea la actividad desarrollada en el local y se multiplican ambos.

$$Q = VN \quad (2)$$

En la cual:

Q = Caudal de aire, m³/h.

V = Volumen del local, m³.

N = Número de renovaciones de aire por hora, h⁻¹.

Ejemplo 1. Un restaurante de tamaño medio tiene un comedor que mide 15×5 metros, con una altura de 3 m. En dicho restaurante no se permite fumar. Estimar el caudal de aire que se debe extraer [3].

Solución:

Ya que no está permitido fumar se escogerá un número de 8 renovaciones de aire por hora (si estuviera permitido fumar, se escogerían 10 renovaciones de aire por hora).

El volumen de aire es:

$$V = LAH$$

$$V = 15 \cdot 5 \cdot 3 = 225 \text{ m}^3$$

El caudal de aire es:

$$Q = VN$$

$$Q = 225 \cdot 8 = 1800 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.50 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Si el local lo permite, se instalarán dos extractores de $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ ($900 \text{ m}^3/\text{h}$) cada uno en una pared, descargando directamente al exterior con dos o tres entradas de aire, bajas, en la pared opuesta, que se cerrarán con persianas de láminas fijas anti lluvia. A los extractores se les colocarán persianas de gravedad que se cierran automáticamente cuando los aparatos se paran, evitando la entrada de aire frío del exterior.

1.4 MOVIMIENTO DEL AIRE

El aire en movimiento crea un efecto refrescante que puede ser expresado en función de la disminución de la temperatura del aire (temperatura de bulbo seco), el cual daría el mismo efecto refrescante en aire tranquilo.

Un punto delicado radica en la ventilación de grandes establecimientos. En efecto, si se aplica una tasa de renovación, incluso elevada, se tiene la impresión de hacer intervenir caudales enormes que deberían dar resultados positivos; sin embargo, si hacemos el cálculo de la velocidad de circulación del aire por

la sección del establecimiento, la velocidad es del orden de cm/s . La velocidad óptima en un establecimiento es 0.3 a 0.7 m/s .

1.5 UBICACIÓN DE LOS EXTRACTORES

Los diversos edificios reales, con la gran variedad de construcciones que existen, dificultan que se den normas fijas respecto a la disposición de los sistemas de ventilación. No obstante, unas directrices generales que deberían seguirse en lo posible son [3]:

ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS

Anexo 24. Metodología aplicada

Se partió del método inductivo, el cual es un tipo de razonamiento basado en la observación y experimentación de casos específicos para alcanzar una conclusión general; de las tendencias observadas se obtiene esta conclusión o teoría considerada válida para casos de similitud; sin embargo, el resultado al que se llega es tentativo y puede ser revisado de acuerdo a nuevas variables y experimentos. Primero, mediante una sistemática revisión bibliográfica, se recopiló información relacionada al tema de estudio, basada en artículos científicos, libros y revistas. Posteriormente se utilizó el método descriptivo para precisamente describir el comportamiento de cada una de las variables en el estudio, además del problema encontrado, sus causas y consecuencias. Específicamente en nuestro estudio, se observó las concentraciones de gases contaminantes en ciertos parqueaderos soterrados, cuyas características coinciden con la mayoría de los estacionamientos soterrados de centros comerciales en el DMQ. Existen alrededor de 17 centros comerciales con estacionamientos soterrados en la ciudad.

El tipo de investigación fue observacional debido a que se utilizaron técnicas para adquirir información por medio de la observación directa y registro de fenómenos, en este caso el registro de emisiones contaminantes. En este tipo de investigación no se ejerce ninguna intervención.

Es de corte transversal ya que esta se caracteriza por recolectar los datos en un solo momento, en un tiempo determinado, proceso que se realizó con cada medición en cada área de estudio. El propósito de esta investigación es describir las variables y analizar su comportamiento en el momento de la toma de datos.

A su vez, corresponde a una investigación cuantitativa porque se basa en el uso de técnicas de estadística para transmitir los resultados y conclusiones obtenidas, específicamente la herramienta de análisis estadística usada en este estudio fue ANOVA, posteriormente se presentan los resultados.

El presente artículo se realizó en el área urbana del Distrito Metropolitano de Quito y alrededores. Se escogieron tres áreas de estudio (AE) para realizar el monitoreo. Los dos primeros ubicados en la parte sur oriental de Quito y el último ubicado en la localidad de Quitumbe. En la tabla 2 se observan sus características.

Tabla 2.

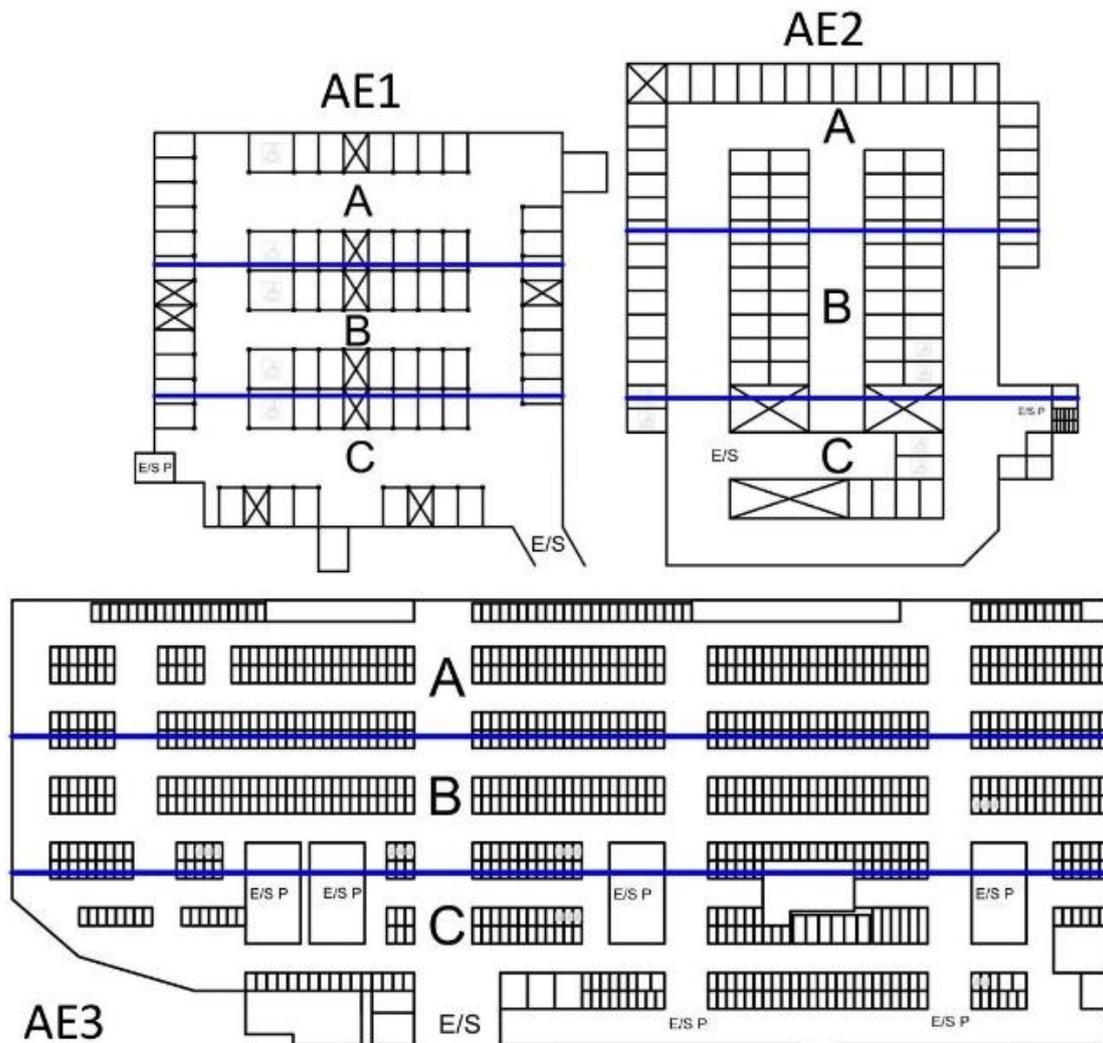
Descripción de las áreas de estudio.

	Capacidad vehicular	Subsuelos	Área (m ²)
AE1	58	1	2091
AE2	81	2	3328
AE3	849	2	36000

Fuente. Autores.

En cada AE se establecieron tres zonas de monitoreo respecto a la salida más cercana del estacionamiento, como se muestra en la figura 1; esto para determinar las características estructurales y de diseño que más influyen en la calidad del aire y ventilación del lugar.

Figura 1.
Zonas de monitoreo



Fuente. Autores

Con una velocidad de marcha promedio de 4,175 km/según un artículo de la Universidad de la república (Sgaravatti, Santos, Bermúdez, & Barboza, 2018), se tomó el tiempo que una persona de entre 0 – 60 años demora en llegar desde su auto a la salida, para evaluar el grado de contaminación, como se observa en la figura 3.

Tabla 3.
Tiempo de exposición.

	Tiempo promedio zona A (s)	Tiempo promedio zona B (s)	Tiempo promedio zona C (s)
AE1	60	40	20
AE2	70	50	30
AE3	120	80	40

Fuente. Autores.

Anexo 25. Descripción visual del equipo de medición de Dienmern. AIMENT. (2022). Monitor de calidad del aire, detector de CO2 de mano de alta precisión AIMENT. Obtenido de [https://www.amazon.com/Aiment-Handheld-Accurate-Multifunctional-Formaldehyde/dp/B0BCJXLTB4/ref=mp_s_a_1_2?crid=1SG55EKABTRQI&keywords=Bia+oling%2B-%2BMonitor%2Bde%2Bcalidad%2Bde%2Baire%2C%2Bmedidor%2Bpreciso%2Bpara%2BCO2%2C%2Bformaldehy%2C%2Bdo%2B\(HCHO\)%2C](https://www.amazon.com/Aiment-Handheld-Accurate-Multifunctional-Formaldehyde/dp/B0BCJXLTB4/ref=mp_s_a_1_2?crid=1SG55EKABTRQI&keywords=Bia+oling%2B-%2BMonitor%2Bde%2Bcalidad%2Bde%2Baire%2C%2Bmedidor%2Bpreciso%2Bpara%2BCO2%2C%2Bformaldehy%2C%2Bdo%2B(HCHO)%2C)



Anexo 26. Datos relevantes referentes al equipo de medición de Dienmern. AIMENT. (2022). Monitor de calidad del aire, detector de CO2 de mano de alta precisión AIMENT. Obtenido de [https://www.amazon.com/Aiment-Handheld-Accurate-Multifunctional-Formaldehyde/dp/B0BCJXLTB4/ref=mp_s_a_1_2?crid=1SG55EKABTRQI&keywords=Biaoling%2B-%2BMonitor%2Bde%2Bcalidad%2Bde%2Baire%2C%2Bmedidor%2Bpreciso%2Bpara%2BCO2%2C%2Bformaldeh%2C3%20ADdo%2B\(HCHO\)%2C](https://www.amazon.com/Aiment-Handheld-Accurate-Multifunctional-Formaldehyde/dp/B0BCJXLTB4/ref=mp_s_a_1_2?crid=1SG55EKABTRQI&keywords=Biaoling%2B-%2BMonitor%2Bde%2Bcalidad%2Bde%2Baire%2C%2Bmedidor%2Bpreciso%2Bpara%2BCO2%2C%2Bformaldeh%2C3%20ADdo%2B(HCHO)%2C)

Sobre este artículo

- **Múltiples gases detectables y registro de datos:** el objetivo puede detectar con precisión el aire de dióxido de carbono (CO2), formaldehído (HCHO), compuesto orgánico volátil (TVOC), partículas (PM1.0/PM2.5/PM10). Este nuevo modo tiene la función de grabación de datos históricos, puedes ver fácilmente el valor del mes pasado. Se recomienda centrarse en el valor medio de cada gas después de probar suficiente tiempo debido a la supervisión a largo plazo, los datos en tiempo real existen inestabilidad.
- **Sensor de alta precisión y chip avanzado:** sensores electroquímicos DART integrados y utilizan sensores de inducción de transmisión óptica de grado profesional, puede identificar con precisión varios indicadores del aire, y contiene varios algoritmos numéricos para lograr una medición inteligente y un flujo estándar. Chip de procesamiento integrado de bajo consumo de energía, puede llevar un monitoreo ininterrumpido durante mucho tiempo a la calidad del aire.
- **Pantalla LCD a todo color y alta resolución:** con diseño de pantalla LCD de alta definición de 2.9 pulgadas, este monitor de calidad del aire es muy fácil de leer y muestra datos claramente en tiempo real. Adopta con chip de alta precisión, actualización de 1 segundo y respuesta instantánea después del arranque. Nuestro detector de calidad del aire está diseñado para ser utilizado simplemente no requiere calibración.
- **Fácil de operar:** una vez que encienda el medidor de calidad del aire, medirá automáticamente la calidad del aire circundante para ti. Nuestro dispositivo fue especialmente diseñado para ser operado por cualquier persona, en cualquier lugar, por lo que puedes mantener tu espacio seguro sin un dolor de cabeza inducido por la tecnología. Puedes abrir/cerrar y cambiar la información de la pantalla con una sola tecla. Siempre cuidará de ti y la salud de tu familia.
- **Batería de capacidad de 2000 mAh:** el detector de calidad del aire tiene una batería recargable integrada de gran capacidad de 2000 mAh, en espera de hasta 10 horas. Se recomienda cargar 6 horas antes del primer uso y no lo utilices cuando se carga o en batería inferior porque los datos pueden no ser tan precisos.
- **Múltiples aplicaciones y más funciones:** este monitor de calidad del aire es adecuado para la detección de aire del hogar, detección de aire del coche, detección de aire de habitación materna y infantil, y detección de lugar público, perfecto para varios escenarios de medición industriales y agrícolas, incluyendo jardín, patio, sala de cultivo, invernadero, energía eléctrica, metalurgia, laboratorio, eliminación de polvo, bioingeniería, etc. Ofrecemos 3 meses de devolución gratuita y garantía de por vida para nuestro monitor de calidad del aire.

Anexo 27. Especificaciones técnicas equipo de medición. AIMENT. (2022). Monitor de calidad del aire, detector de CO2 de mano de alta precisión AIMENT. Obtenido de [https://www.amazon.com/Aiment-Handheld-Accurate-Multifunctional-Formaldehyde/dp/B0BCJXLTB4/ref=mp_s_a_1_2?crd=1SG55EKABTRQI&keywords=Biaoling%2B-%2BMonitor%2Bde%2Bcalidad%2Bde%2Baire%2C%2Bmedidor%2Bpreciso%2Bpara%2BCO2%2C%2Bformaldeh%20C3%20ADdo%2B\(HCHO\)%2C](https://www.amazon.com/Aiment-Handheld-Accurate-Multifunctional-Formaldehyde/dp/B0BCJXLTB4/ref=mp_s_a_1_2?crd=1SG55EKABTRQI&keywords=Biaoling%2B-%2BMonitor%2Bde%2Bcalidad%2Bde%2Baire%2C%2Bmedidor%2Bpreciso%2Bpara%2BCO2%2C%2Bformaldeh%20C3%20ADdo%2B(HCHO)%2C)

Marca	Aiment
Estilo	Moderno
Fuente de alimentación	Funciona con batería
Color	Naranja-10in1
Dimensiones del artículo LxWxH	6,45 x 2,91 x 1,02 pulgadas
Alarma	Audible
Humedad operativa	85 %
Clasificación de temperatura superior	50 Grados Celsius
Tipo de sensor	Electroquímico
Fabricante	Aiment
Número de pieza	ZHP0034
Dimensiones del producto	6,45 x 2,91 x 1,02 pulgadas
País de origen	China
Número de modelo del producto	ZHP0034
Material	ABS
Componentes incluidos	Monitor de calidad del aire
¿Se incluyen las baterías?	No
¿Se necesitan baterías?	No

Anexo 28. Delimitación de variables

DELIMITACIÓN DE VARIABLES

Mediciones serán realizadas en 3 parqueaderos, AE1, AE2 y AE3 (**Características:** los 2 primeros son de la misma capacidad, el último es el de mayor capacidad)

Variables:

- Número de vehículos
- Distancia
- Humedad y temperatura

100	Inicio	Temperatura y humedad
100	Mitad	
100	Salida	

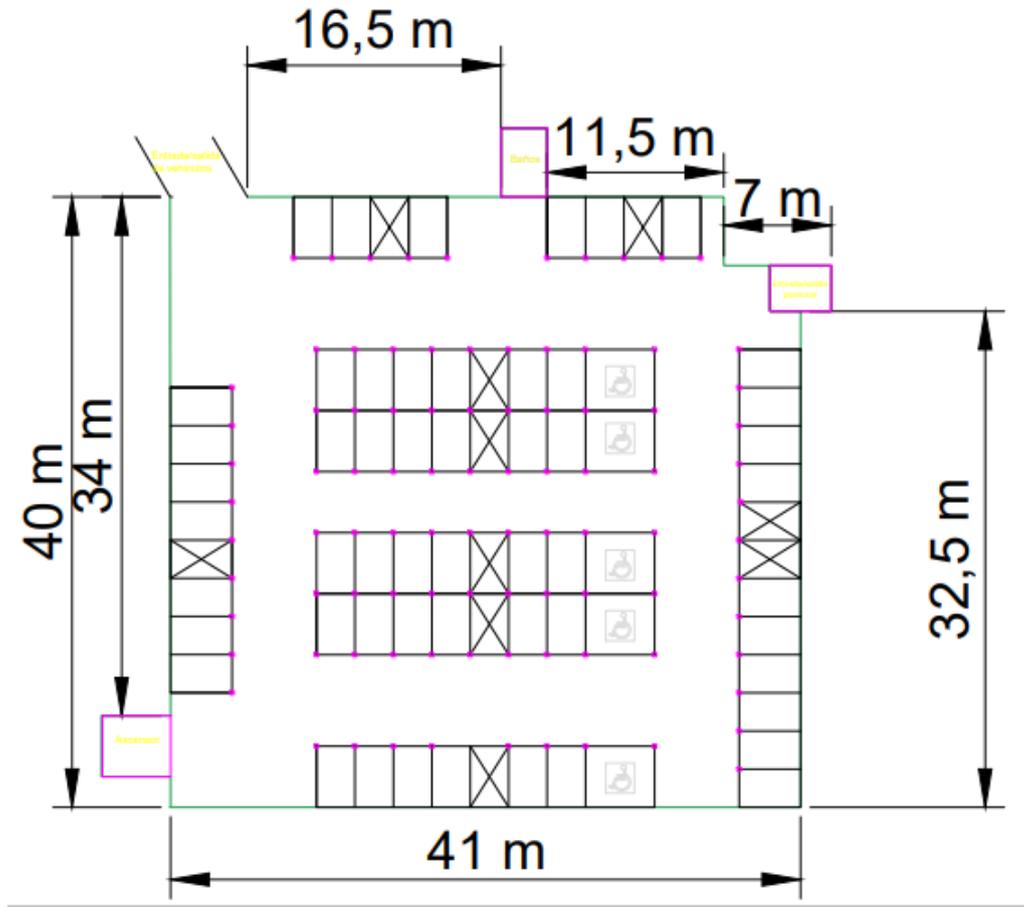
50	Inicio	Temperatura y humedad
50	Mitad	
50	Salida	

25	Inicio	Temperatura y humedad
25	Mitad	
25	Salida	

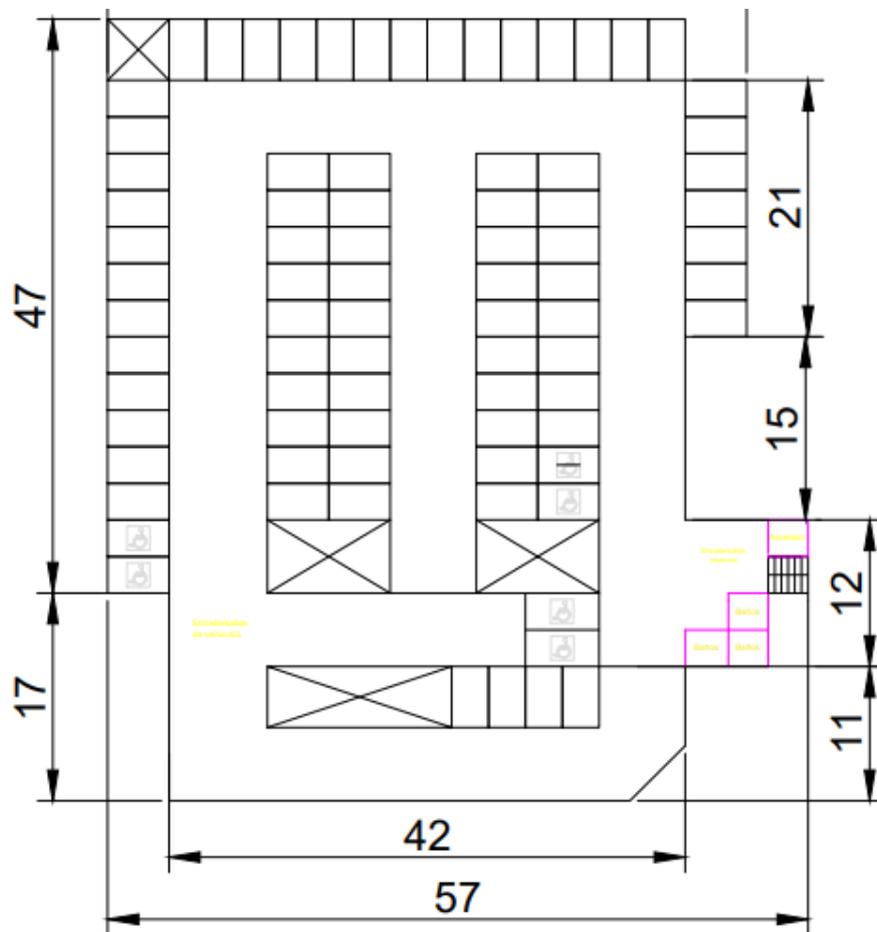
Ejemplo de tabla

Capacidad 100%					
Distancia	CO2	TVOC	HCHO	T	H
Inicio					
Mitad					
Salida					

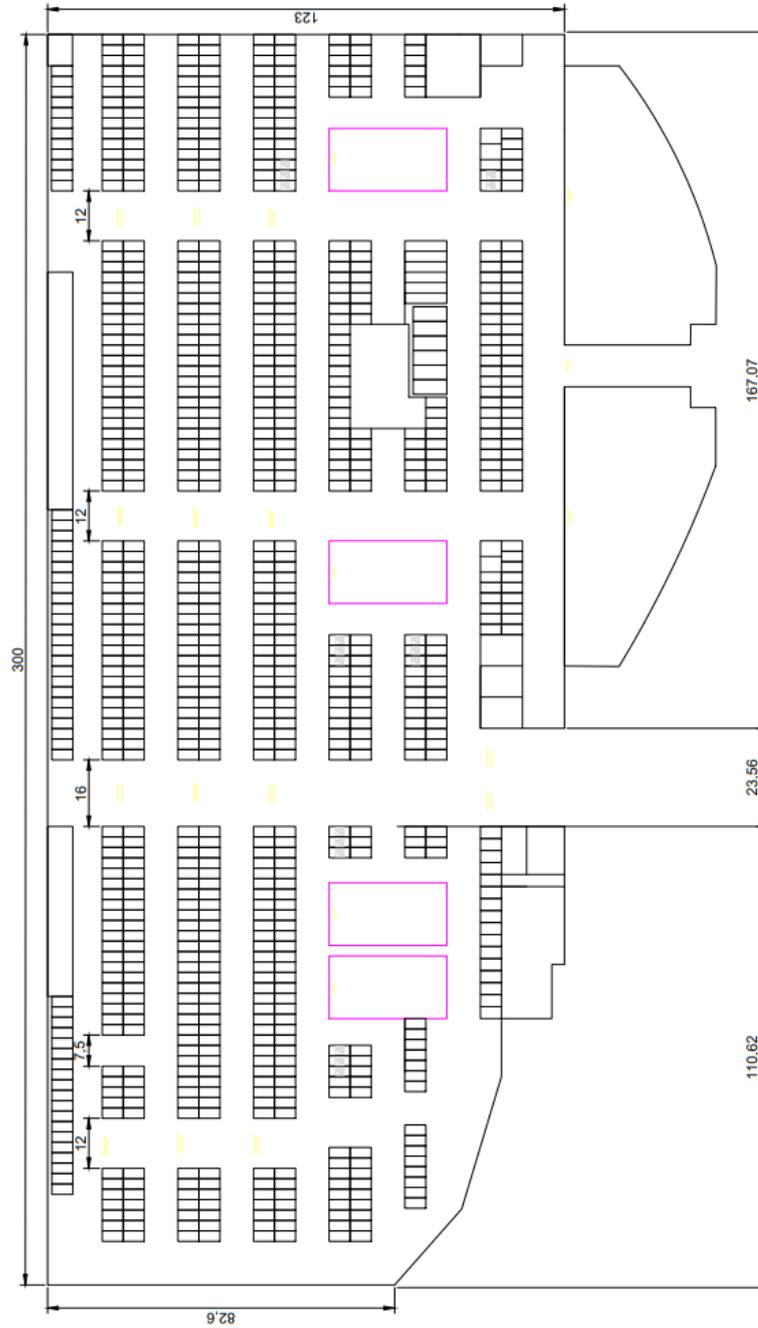
Anexo 29. Plano AE1



Anexos 30. Planos AE2



Anexos 31. Plano AE3



Anexo 32. Sgaravatti, A., Santos, D., Bermúdez, G., & Barboza, A. (2018). *Velocidad de marcha del adulto mayor funcionalmente saludable*. Obtenido de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-12542018000200093#:~:text=La%20velocidad%20de%20la%20marcha%20media%20fue%201%2C10%20m,1%2C0%20m%2Fs 5-6

La medición de la VM se realizó mediante el uso de los programas informáticos Virtualdub 1.10.4 y Kinovea 8.21, ambos software de distribución libre.

En una publicación realizada por autores de este trabajo⁽⁸⁾ se probó la confiabilidad de la metodología aquí descrita para medir la VM. Se ha demostrado que los análisis observacionales de video para medir las variables espacio temporales de la marcha son válidos⁽⁹⁾.

Análisis estadístico

La asociación entre VM y las características clínicas y demográficas fue estudiada mediante modelos de regresión lineal. En primera instancia se llevaron a cabo regresiones simples (una por cada variable clínica/demográfica) que permitiera cuantificar el efecto marginal de cada variable sobre la VM.

Luego, se llevó a cabo una regresión lineal múltiple de manera de identificar el efecto parcial de las variables involucradas. Los supuestos de normalidad y homoscedasticidad subyacentes al modelo de regresión fueron comprobados a través de los estadísticos de Shapiro-Wilk y Breusch-Pagan respectivamente.

Se estableció un nivel de significación del 5%. El procesamiento de los datos se realizó mediante el software estadístico R.

Resultados

Las características demográficas y clínicas de los AM se presentan en la Tabla 1.

La VM de la muestra fue de 1,16 m/s en promedio.

En la tabla 2 se muestra la VM según rango de edad y sexo. En la figura 3 se grafica la distribución de la VM en cada rango etario.

Tabla 1. Características demográficas y clínicas de los adultos mayores (n=60), se muestran los valores promedios y sus respectivos desvíos estándar (DE).

Variable (unidad)	Resultado (DE)
Edad (años)	76 (7)
Sexo	37 ♀ y 23 ♂
Escolaridad (años)	4,0 (1,5)
N° Caídas por año	2 (1,0)
Charlson	1,2 (1,1)
Polifarmacia	2
N° de Psicotrópicos	1
Peso (kg)	67,7 (13,8)
Altura (m)	1,59 (0,11)
IMC (kg/m ²)	26,9 (4,2)
VM (m/s)	1,16 (0,21)

Tabla 2. Velocidad media de la marcha (m/s), según edad y el sexo, con respectivos desvíos estándar (DE). Los tamaños de las subpoblaciones se han definido tomando como referencia la proporción de la población

Edad (años)	Masculino (DE)	Femenino (DE)	Total (DE)
65 ≤ 74	1,31 (0,17)	1,17 (0,21)	1,23 (0,20)
75 ≤ 80	1,14 (0,22)	1,13 (0,20)	1,12 (0,20)
>80	1,11 (0,23)	1,03 (0,19)	1,06 (0,22)

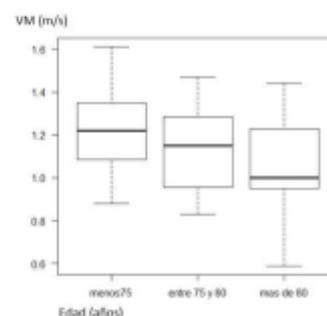


Figura 3. Velocidad de la marcha (m/s) obtenida en la población, discriminada por grupo etario (media, valor mínimo y máximo, percentil 25 y 75 para cada grupo).

Con el fin de evaluar el posible efecto de los factores de estudio sobre la VM se aplicaron modelos de regresión simple y múltiple (Tabla 3).

Tabla 3. Estadísticos de regresión lineal simple y múltiple entre las variables demográficas y clínicas con la velocidad de la marcha.

	R simple	p-valor	R múltiple	p-valor
Con caídas	-0,131	0,029 *	-0,123	0,047 *
Sexo	0,101	0,074	0,036	0,622
IMC	0,001	0,907	-0,001	0,928
Altura	0,592	0,018 *	-0,161	0,632
Con psicotrópicos	-0,026	0,652	-0,062	0,245
Con polifarmacia	-0,157	0,004 *	-0,092	0,116
Escolaridad	0,017	0,251	0,018	0,198
Charlson	-0,041	0,090	-0,023	0,328
Edad	-0,013	<0,001 *	-0,010	0,010 *

*Se destacan aquellos de significación estadística

Cabe señalar que la validez de la regresión múltiple fue corroborada luego de comprobar el cumplimiento de los supuestos de normalidad (test Shapiro-Wilks p-valor= 0,699) y homoscedasticidad (test de Breusch-Pagan p-valor=0,991).

Discusión

A nivel internacional la VM de los AM varía entre, 0,60 y 1,70 m/s, considerándose normal una VM de 1,20 m/s⁽²⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾. Esto es acorde con nuestro estudio que muestra una VM de 1.16 m/s.

Montero-Odasso⁽¹⁸⁾ sugiere que la velocidad de marcha superior a 1,0 m/s se asocia a una mayor independencia en la realización de actividades de la vida diaria y a un menor riesgo de caídas, lo que es acorde a lo hallado en nuestro estudio.

En cuanto al comportamiento de la marcha según la edad, encontramos una disminución de la misma a medida que aumenta la edad, siendo de 1,20 m/s en menores de 75 años y de 1,0 m/s para edades mayores a 80 años, como se demuestra en la Figura 1. En el modelo de regresión simple (Tabla 3) se aprecia que la VM disminuye conforme aumenta la edad, así como con la polifarmacia y el número de caídas, mientras que en la regresión múltiple indica que al considerar

simultáneamente todos estos factores, los únicos que mantienen significancia son la edad y el número de caídas previas. Otras publicaciones que estudiaron este tema muestran diferentes valores pero con una tendencia similar a los obtenidos en este estudio⁽⁷⁾⁽²⁰⁾.

Caminar es una actividad compleja y la VM está condicionada por muchas variables, que incluyen, pero no se limitan, al estado de salud de un individuo, el control motor, la condición osteomuscular y sensorial⁽⁷⁾. Encontramos que un 15% de los AM presenta una VM menor a 1,0 m/s. Investigadores como Inzitari y Lauretani, encontraron velocidades menores a 1,0 m/s, y establecieron la hipótesis que las velocidades menores a 0,80 m/s podrían estar relacionados con diferentes procesos subclínicos los que estarían en el origen del deterioro funcional⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾.

Anexo 33. Normativa GB/T 18883-2022. Resumen y Bibliografía. Standardization Administration of China. (2022). *Indoor air quality standard (GB/T 18883-2022)*. Beijing, China: Standards Press of China.

Standards for indoor air quality

1 Scope

This standard specifies the physical, chemical, biological and radioactive indicators and requirements of indoor air quality, and describes the measurement methods of the indicators.

This standard is applicable to residential and office buildings, and may apply to other indoor environment by reference.

2 Normative references

The following documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

GB 3095-2012	<i>Ambient air quality standard</i>
GB/T 12372	<i>Standard method for examination of nitrogen dioxide in air of residential areas-Modified Saltzman method</i>
GB/T 14669	<i>Air quality. Determination of ammonia. Ion selective electrode method</i>
GB/T 15435	<i>Ambient air - Determination of nitrogen dioxide - Saltzman method</i>
GB/T 16128	<i>Standard method for hygienic examination of sulfur dioxide in air of residential areas - Formaldehyde solution sampling-pararosaniline hydrochloride spectrophotometric method</i>
GB/T 16129	<i>Standard method for hygienic examination of formaldehyde in air of residential areas - Spectrophotometric method</i>
GB/T 18204.1	<i>Examination methods for public places - Part 1: Physical parameters</i>
GB/T 18204.2	<i>Examination methods for public places - Part 2: Chemical pollutants</i>
GB/T 27476.5	<i>Safety in testing laboratories - Part 5: Chemical aspects</i>
GB/T 32465	<i>Requirements for verification & validation of detection methods and internal quality control on chemical analysis</i>
HJ 93	<i>Specifications and test procedures for PM10 and PM2.5 sampler</i>
HJ/T 167	<i>Technical specification for monitoring of indoor air quality</i>
HJ 533	<i>Air and exhaust gas - Determination of ammonia - Nessler's reagent spectrophotometry</i>
HJ 590	<i>Ambient air - Determination of ozone - Ultraviolet photometric method</i>

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in GB 3095 - 2012 and the following apply.

3.1

indoor air quality indicator

physical, chemical, biological and radioactive indicators in indoor air related to human health

3.2

inhalable particulate matter; PM₁₀

particulate matter floating in the air, with particle size (aerodynamic equivalent diameter) less than or equal to 10µm

[Source: GB 3095-2012, 3.3, modified]

3.3

fine particulate matter; PM_{2.5}

particulate matter floating in the air, with particle size (aerodynamic equivalent diameter) less than or equal to 2.5µm

[Source: GB 3095-2012, 3.4, modified]

3.4

total volatile organic compounds; TVOC

volatile organic compounds with retention time between n-hexane and n-hexadecane when sampled by Tenax TA or equivalent filling adsorption tube and analyzed with a non-polar or weak-polar capillary column (polarity index: <10)

3.5

1-hour average

arithmetic average of pollutant concentration in any 1 hour

[Source: GB/T 3095- 2012, 3.8]

3.6

8-hour average

arithmetic average of pollutant concentration in consecutive 8 hours

[Source: GB 3095-2012, 3.9, modified]

3.7

24-hour average

arithmetic average of pollutant concentration in consecutive 24 hours

[Source: GB 3095-2012, 3.10, modified]

4 Requirement for indoor air quality

4.1 Indoor air shall be non-toxic, harmless and have no abnormal smell.

4.2 Indoor air quality indicators and requirements shall comply with the provisions of Table 1.

Bibliography

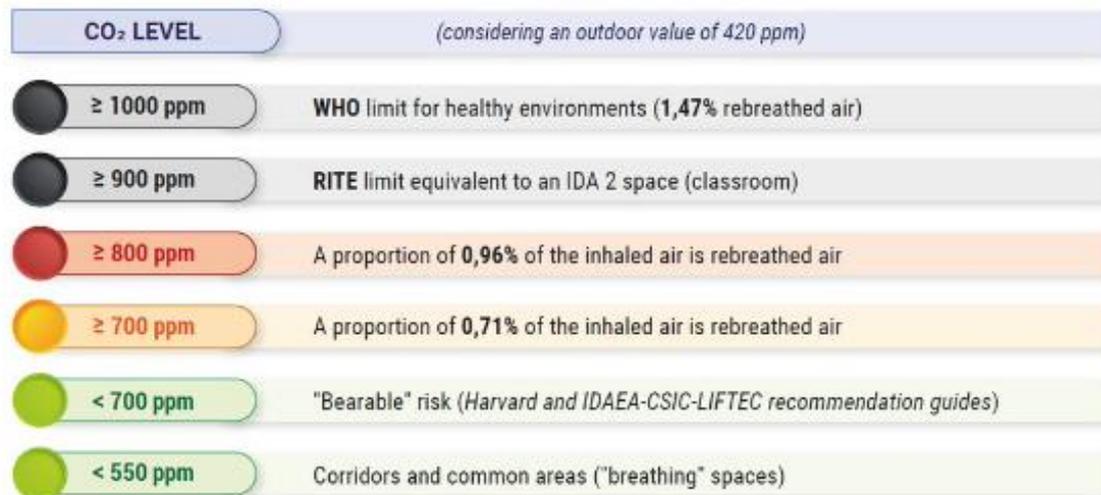
- [1] GB/T 18204.3-2013 *Examination methods for public places - Part 3: Airborne microorganism*
- [2] GBZ/T 182-2006 *Specifications for monitoring of indoor radon and its decay products*
- [3] HJ 583-2010 *Ambient air - Determination of benzene and its analogies using sorbent adsorption thermal desorption and gas chromatography*
- [4] HJ 584-2010 *Ambient air - Determination of benzene and its analogies by activated charcoal adsorption carbon disulfide desorption and gas chromatography*
- [5] HJ 618-2011 *Determination of atmospheric particles PM₁₀ and PM_{2.5} in ambient air by gravimetric method*
- [6] HJ 647-2013 *Ambient air and stationary source emissions - Determination of gas and particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons - High performance liquid chromatography*
- [7] HJ 683-2014 *Ambient air - Determination of aldehyde and ketone compounds - High performance liquid chromatography*
- [8] HJ 956-2018 *Air quality - Determination of benz[a]pyrene in ambient air - High performance liquid chromatography*
- [9] HJ 1212-2021 *Measurement methods for determination of radon in environmental air*
- [10] ISO 11665-4:2021 *Measurement of radioactivity in the environment - Air: radon-222 - Part 4: Integrated measurement method for determining average activity concentration using passive sampling and delayed analysis*
- [11] ISO 16000-6:2021 *Indoor air - Part 6: Determination of organic compounds (VVOC, VOC, SVOC) in indoor and test chamber air by active sampling on sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS FID*

Anexo 34. Recomendaciones IDEA-CSIC y límite OMS para CO2. Aire Ciudadano. (2021). Medición de CO2 en fundación médica de temas respiratorios con altos valroes. Obtenido de <https://aireciudadano.com/2021/03/03/medicion-de-co2-es-fundacion-medica-de-temas-respiratorios-3-marzo-2021/>

CO₂ LIMIT AS AN INDIRECT INDICATOR OF THE RISK OF INFECTION

The risk of infection (aerosols) is proportional to the CO₂ concentration:

- It is calculated as the **difference** between the CO₂ found **indoors** and **outdoors** (ΔCO_2).
- If $\Delta\text{CO}_2 > 0$, risk already exists.



Anexo 35. Límites RESET Standards para CO2 y TVOC. RESET. (2023). Data Standard and Tools for healthy and sustainable built environments. Obtenido de <https://www.reset.build/>

Performance Targets for the Commercial Interior Project Typology

PM2.5 Particulate Matter	TVOC Total Volatile Organic Compounds	CO ₂ Carbon Dioxide	Temp Temperature	RH Relative Humidity
Acceptable < 35 µg/m ³	Acceptable < 500 µg/m ³	Acceptable < 1000 ppm	Monitored	Monitored
High Performance < 12 µg/m ³	High Performance < 400 µg/m ³	High Performance < 600 ppm	Although there are no requirements for temperature and humidity under RESET Air , both must be monitored given their impact on sensor readings for PM2.5 and TVOC.	

Performance Targets for the Core & Shell Project Typology

PM2.5 Particulate Matter	TVOC Total Volatile Organic Compounds	CO ₂ Carbon Dioxide	Temp Temperature	RH Relative Humidity
Required ≤ 12 µg/m ³ or ≥ 75% Reduction*	Required ≤ 400 µg/m ³	Required ≤ 800 ppm or ≤ 350 ppm over outdoor levels to a maximum of 900 ppm	Monitored	Monitored
Although there are no requirements for temperature and humidity under RESET Air , both must be monitored given their impact on sensor readings for PM2.5 and TVOC.				

*Note that if TVOC is in ppb, the equivalent to 500 ug/m3 and 400 ug/m3 is 220 and 176 ppb respectively. Learn more in the [FAQ](#).

Anexo 36. Límites UBA para TVOC. ATMO. (2023). TVOC: Standards for Indoor Air Quality (IAQ). Obtenido de <https://atmotube.com/atmotube-support/standards-for-indoor-air-quality-iaq>

Indoor Air Quality Levels by German Federal Environmental Agency

The German Federal Environmental Agency translates TVOC concentration (parts per billion) on a logarithmic scale into five indoor air quality levels (IAQ), as shown in the table below.

Level	Hygienic Rating	Recommendation	Exposure Limit	TVOC [ppm]
Unhealthy	Situation not acceptable	Use only if unavoidable / Intense ventilation necessary	hours	2.2 - 5.5
Poor	Major objections	Intensified ventilation / airing necessary Search for sources	< 1 month	0.66 - 2.2
Moderate	Some objections	Intensified ventilation / airing recommended Search for sources	< 12 months	0.22 - 0.66
Good	No relevant objections	Ventilation / airing recommended	no limit	0.065 - 0.22
Excellent	No objections	Target value	no limit	0 - 0.065

Anexo 37. Límites OMS para TVOC. ATMO. (2023). TVOC: Standards for Indoor Air Quality (IAQ). Obtenido de <https://atmotube.com/atmotube-support/standards-for-indoor-air-quality-iaq>

Air Quality Guidelines by the World Health Organization (WHO)

The World Health Organization (WHO) released indoor air quality guidelines for Europe which are classified by means of TVOC concentration values. Different air quality classes and their corresponding class limits in TVOC concentration are listed in Table below.

Level	Recommendation	TVOC [mg/m ³]	TVOC [ppm]
Outside quality classes	Greatly increased (not acceptable)	> 3.0	> 0.61
4	Significantly increased (only temporary exposure)	1.0 - 3.0	0.20 - 0.61
3	Slightly increased (harmless)	0.5 - 1.0	0.10 - 0.20
1	Target value	> 0.25	0 - 0.05

ANEXOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anexos 38. Protocolo de pruebas

PROTOCOLO DE PRUEBAS	
TÍTULO:	ANÁLISIS DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN ESTACIONAMIENTOS SOTERRADOS EN EL DMQ
DATOS GENERALES	
GASES A MEDIR:	CO ₂ , HCHO, TVOC
EQUIPO:	MEDIDOR DE CALIDAD DE AIRE AIMENT
UBICACIÓN:	DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO Y VALLE DE LOS CHILLOS
FECHA:	
PARÁMETROS DE ENTRADA	
TEMPERATURA:	15 - 20 °C
HUMEDAD RELATIVA:	60 - 80 %
ALTITUD:	2800 m.s.n.m.
TIEMPO DE CALIBRACIÓN:	5 min.
VARIABLES INDEPENDIENTES	
<i>C</i>	CAPACIDAD DEL ESTACIONAMIENTO AL MOMENTO DEL MONITOREO
<i>X</i>	DISTANCIA LINEAL RESPECTO A ENTRADA PEATONAL
DESARROLLO DE PRUEBA	
1.	RECONOCIMIENTO FÍSICO DEL LUGAR DE MEDICIÓN
2.	IDENTIFICACIÓN DE RESPIRADEROS Y PUNTOS DE EXTRACCIÓN DE AIRE
3.	ESTABLECIMIENTO DE PUNTOS DE MONITOREO
4.	COMPROBACIÓN DE PARÁMETROS INICIALES
5.	CALIBRACIÓN DE EQUIPO DE MEDICIÓN
6.	MEDICIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES
7.	REGISTRO EN PROTOCOLO DE PRUEBAS

TABLAS PARA EL MONITOREO

ÁREA DE ESTUDIO 1

ESCENARIO 1

C: 100%

DISTANCIA (m)		CO2 (ppm)	HCHO (mg/m3)	TVOC (mg/m3)	T (°C)	Hr (%)
X1						
X2						
X3						

ESCENARIO 2

C: 50%

DISTANCIA (m)		CO2 (ppm)	HCHO (mg/m3)	TVOC (mg/m3)	T (°C)	Hr (%)
X1						
X2						
X3						

ÁREA DE ESTUDIO 2

ESCENARIO 1

C: 100%

DISTANCIA (m)		CO2 (ppm)	HCHO (mg/m3)	TVOC (mg/m3)	T (°C)	Hr (%)
X1						
X2						
X3						

ESCENARIO 2

C: 50%

DISTANCIA (m)		CO2 (ppm)	HCHO (mg/m3)	TVOC (mg/m3)	T (°C)	Hr (%)
X1						
X2						
X3						

ÁREA DE ESTUDIO 3

ESCENARIO 1

C: 100%

DISTANCIA (m)		CO2 (ppm)	HCHO (mg/m3)	TVOC (mg/m3)	T (°C)	Hr (%)
X1						
X2						
X3						

ESCENARIO 2

C: 50%

DISTANCIA (m)		CO2 (ppm)	HCHO (mg/m3)	TVOC (mg/m3)	T (°C)	Hr (%)
X1						
X2						
X3						

Anexo 39. Datos preliminares AE1

100%									
Al fondo			Mitad			Inicio			
CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	
1474	0,01	0,82	855	0,051	0,541	529	0,09	0,21	
1486	0,009	0,8	962	0,011	0,441	532	0,011	0,224	
1491	0,009	0,8	983	0,011	0,42	536	0,009	0,217	
1486	0,014	0,807	946	0,011	0,34	533	0,011	0,127	
1482	0,015	0,83	830	0,01	0,41	537	0,01	0,152	
1478	0,012	0,837	878	0,016	0,715	545	0,01	0,144	
1482	0,013	0,852	895	0,013	1,172	554	0,09	0,144	
1490	0,01	0,887	852	0,012	1,479	554	0,01	0,156	
1503	0,012	0,845	873	0,01	1,573	549	0,01	0,152	
1519	0,014	0,875	898	0,01	1,577	537	0,011	0,156	
1544	0,014	0,85	818	0,011	1,605	533	0,01	0,144	
1573	0,012	0,835	739	0,009	1,566	529	0,011	0,156	
1597	0,011	0,837	751	0,011	1,598	529	0,01	0,149	
1608	0,01	0,852	764	0,011	1,556	533	0,009	0,127	
1560	0,014	0,98	772	0,1	1,521	574	0,011	0,142	
1548	0,017	0,965	785	0,011	1,395	549	0,011	0,123	
1544	0,016	1,01	797	0,011	1,248	562	0,009	0,127	
1527	0,013	1,015	805	0,09	1,18	566	0,009	0,156	
1507	0,017	1,06	810	0,011	1,105	562	0,009	0,123	
1449	0,011	1,12	801	0,009	0,92	566	0,011	0,142	
1517,4	0,01265	0,89385	840,7	0,02145	1,1181	545,45	0,0181	0,15355	

50%									
Al fondo			Mitad			Inicio			
CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	
1003	0,009	0,62	789	0,01	0,586	488	0,011	0,287	
1004	0,011	0,63	785	0,01	0,589	488	0,011	0,282	
1014	0,009	0,62	789	0,011	0,591	496	0,009	0,289	
1005	0,011	0,63	797	0,01	0,598	496	0,011	0,28	
1002	0,009	0,62	805	0,009	0,61	496	0,009	0,294	
995	0,009	0,63	797	0,009	0,61	512	0,01	0,294	
997	0,009	0,62	797	0,011	0,608	512	0,009	0,289	
997	0,01	0,64	789	0,011	0,601	513	0,011	0,373	
1007	0,01	0,61	789	0,009	0,686	513	0,01	0,355	
1019	0,011	0,627	789	0,011	0,613	508	0,009	0,361	
992	0,009	0,62	785	0,011	0,598	500	0,011	0,355	
1002	0,01	0,611	789	0,009	0,594	500	0,01	0,382	
993	0,011	0,611	789	0,009	0,586	500	0,01	0,385	
993	0,011	0,618	793	0,011	0,598	500	0,009	0,382	
1003	0,01	0,611	793	0,009	0,586	512	0,01	0,393	
1003	0,01	0,614	797	0,011	0,594	533	0,01	0,397	
1003	0,01	0,611	797	0,009	0,598	488	0,011	0,294	
1013	0,009	0,61	797	0,009	0,604	488	0,01	0,287	
997	0,011	0,627	797	0,009	0,598	488	0,011	0,289	
997	0,01	0,62	793	0,011	0,579	488	0,009	0,289	
1001,95	0,00995	0,62	792,8	0,00995	0,60135	500,95	0,01005	0,32785	

Anexo 40. Datos preliminares AE2

100%									
Al fondo			Mitad			Inicio			
CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	
681	0,01	0,559	929	0,065	0,734	1222	0,011	0,701	
694	0,01	0,578	929	0,01	0,444	1247	0,013	0,701	
685	0,011	0,538	929	0,01	0,437	1272	0,017	0,701	
673	0,011	0,561	871	0,024	0,483	1301	0,017	0,667	
665	0,009	0,555	871	0,039	0,467	1329	0,014	0,665	
673	0,011	0,564	826	0,04	0,582	1350	0,013	0,621	
673	0,01	0,511	826	0,039	0,577	1337	0,012	0,663	
673	0,009	0,467	826	0,038	0,484	1317	0,017	0,678	
673	0,011	0,453	826	0,022	0,521	1292	0,017	0,676	
665	0,009	0,424	830	0,015	0,435	1267	0,018	0,683	
665	0,01	0,451	830	0,011	0,596	1267	0,018	0,687	
665	0,01	0,436	875	0,009	0,584	1267	0,018	0,674	
644	0,009	0,424	875	0,009	0,463	1243	0,019	0,68	
644	0,01	0,429	921	0,01	0,46	1243	0,02	0,695	
611	0,011	0,5	921	0,009	0,563	1242	0,009	0,659	
611	0,011	0,414	949	0,01	0,553	1288	0,009	0,667	
611	0,009	0,4	949	0,01	0,453	1288	0,01	0,647	
632	0,01	0,518	933	0,011	0,421	1325	0,012	0,663	
632	0,011	0,584	933	0,011	0,505	1325	0,012	0,667	
673	0,011	0,584	949	0,011	0,505	1358	0,012	0,659	
657,15	0,01015	0,4975	889,9	0,02015	0,51335	1289	0,0144	0,6727	

50%									
Al fondo			Mitad			Inicio			
CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	
661	0,009	0,483	923	0,011	0,638	1059	0,009	0,574	
661	0,009	0,481	929	0,01	0,624	1010	0,01	0,574	
653	0,009	0,477	935	0,01	0,637	1005	0,01	0,621	
572	0,01	0,432	917	0,012	0,63	993	0,01	0,637	
570	0,011	0,423	911	0,009	0,62	993	0,009	0,638	
557	0,011	0,428	911	0,009	0,624	976	0,009	0,641	
612	0,01	0,435	900	0,016	0,418	1039	0,011	0,658	
607	0,01	0,432	912	0,013	0,42	1039	0,011	0,638	
529	0,011	0,439	917	0,017	0,424	1031	0,009	0,638	
525	0,011	0,439	909	0,02	0,436	1027	0,021	0,641	
601	0,01	0,436	904	0,016	0,439	1027	0,017	0,621	
533	0,009	0,443	896	0,011	0,441	1014	0,011	0,632	
599	0,011	0,466	892	0,015	0,449	998	0,01	0,624	
619	0,011	0,464	889	0,01	0,625	977	0,011	0,621	
632	0,009	0,462	911	0,009	0,625	961	0,01	0,624	
636	0,011	0,456	934	0,01	0,613	953	0,011	0,6	
636	0,01	0,453	916	0,009	0,611	1040	0,01	0,6	
628	0,01	0,443	895	0,009	0,624	1036	0,011	0,592	
615	0,011	0,432	903	0,009	0,611	1020	0,011	0,607	
599	0,011	0,436	910	0,01	0,611	1012	0,011	0,604	
602,25	0,0102	0,448	910,7	0,01175	0,556	1010,5	0,0111	0,61925	

Anexos 41. Datos preliminares AE3

100%									
Al fondo			Mitad			Inicio			
CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	
1499	0,024	0,226	648	0,013	0,487	489	0,011	0,366	
1507	0,021	0,231	739	0,014	0,471	489	0,012	0,347	
1507	0,021	0,226	748	0,013	0,471	489	0,013	0,332	
1515	0,023	0,224	743	0,013	0,462	489	0,012	0,325	
909	0,011	0,421	743	0,013	0,459	489	0,013	0,318	
909	0,013	0,445	735	0,012	0,466	487	0,011	0,308	
909	0,01	0,436	735	0,011	0,45	489	0,012	0,311	
909	0,011	0,429	723	0,013	0,434	487	0,011	0,308	
904	0,01	0,428	723	0,013	0,45	487	0,014	0,296	
913	0,011	0,357	739	0,014	0,471	487	0,015	0,308	
904	0,012	0,429	748	0,013	0,471	484	0,013	0,318	
992	0,011	0,441	743	0,013	0,462	484	0,014	0,296	
992	0,011	0,417	743	0,013	0,459	484	0,014	0,311	
992	0,012	0,421	735	0,012	0,466	484	0,013	0,308	
912	0,015	0,485	735	0,011	0,45	479	0,011	0,289	
942	0,011	0,413	706	0,011	0,449	484	0,01	0,296	
914	0,015	0,525	706	0,011	0,446	474	0,012	0,282	
930	0,015	0,52	739	0,014	0,096	474	0,011	0,294	
930	0,014	0,508	710	0,014	0,123	487	0,012	0,267	
950	0,016	0,513	710	0,015	0,43	467	0,01	0,274	
1046,95	0,01435	0,40475	727,55	0,0128	0,42365	484,15	0,0122	0,3077	

50%									
Al fondo			Mitad			Inicio			
CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	CO2	HCHO	TVOC	
1106	0,01	0,275	706	0,011	0,42	599	0,012	0,282	
1007	0,011	0,275	702	0,01	0,394	611	0,01	0,34	
913	0,011	0,311	709	0,009	0,386	611	0,013	0,373	
917	0,009	0,296	715	0,009	0,38	640	0,01	0,098	
921	0,009	0,316	711	0,01	0,403	582	0,011	0,065	
917	0,013	0,352	705	0,009	0,414	558	0,045	0,707	
913	0,011	0,357	713	0,017	0,361	558	0,009	0,378	
900	0,011	0,372	713	0,018	0,357	517	0,009	0,401	
913	0,011	0,672	725	0,019	0,364	582	0,009	0,414	
1065	0,011	0,611	725	0,017	0,365	545	0,011	0,386	
1193	0,01	0,579	761	0,013	0,492	562	0,009	0,663	
1168	0,019	0,835	744	0,016	0,478	430	0,011	0,687	
1139	0,011	0,47	706	0,016	0,504	469	0,064	0,415	
1090	0,011	0,47	706	0,017	0,487	632	0,014	0,431	
1020	0,01	0,452	706	0,009	0,674	656	0,009	0,445	
999	0,011	0,443	739	0,011	0,674	640	0,01	0,098	
912	0,016	0,485	636	0,045	0,745	580	0,01	0,084	
925	0,014	0,47	677	0,011	0,108	584	0,011	0,067	
941	0,018	0,49	690	0,011	0,149	525	0,056	0,565	
966	0,014	0,487	664	0,009	0,372	525	0,046	0,534	
996,25	0,01205	0,4509	707,65	0,01435	0,42635	570,3	0,01895	0,37165	

Anexos 42. Evidencia del muestreo de las concentraciones de gases contaminantes







13:57 Saturday
2023 Year 02 Mon 11 Date

70%

CO₂ / ppm

487

PM2.5

HCHO / mg/m³
0.011

TVOC / mg/m³
0.108

TEMP
28°C

HUM
58%



Anexos 43. Media aritmética de datos

AE1

Capacidad 100%			
Distancia	CO2	HCHO	TVOC
Fondo	1517,4	0,01265	0,89385
Mitad	840,7	0,02145	1,1181
Inicio	545,45	0,0181	0,15355
Promedio	967,85	0,0174	0,72183333

Capacidad 50%			
Distancia	CO2	HCHO	TVOC
Fondo	1001,95	0,00995	0,62
Mitad	792,8	0,00995	0,60135
Inicio	500,95	0,01005	0,32785
Promedio	765,233333	0,00998333	0,5164

AE2

Capacidad 100%			
Distancia	CO2	HCHO	TVOC
Fondo	657,15	0,01015	0,4975
Mitad	889,9	0,02015	0,51335
Inicio	1289	0,0144	0,6727
Promedio	945,35	0,0149	0,56118333

Capacidad 50%			
Distancia	CO2	HCHO	TVOC
Fondo	602,25	0,0102	0,448
Mitad	910,7	0,01175	0,556
Inicio	1010,5	0,0111	0,61925
Promedio	841,15	0,01101667	0,54108333

AE3

Capacidad 100%			
Distancia	CO2	HCHO	TVOC
Fondo	1046,95	0,01435	0,40475
Mitad	727,55	0,0128	0,42365
Inicio	484,15	0,0122	0,3077
Promedio	752,883333	0,01311667	0,3787

Capacidad 50%			
Distancia	CO2	HCHO	TVOC
Fondo	996,25	0,01205	0,4509
Mitad	707,65	0,01435	0,42635
Inicio	570,3	0,01895	0,37165
Promedio	758,066667	0,01511667	0,4163

Anexo 44. Mora, M. P. (2019). Diseño e implementación de un control automático para la extracción de monóxido de carbono para dos niveles de estacionamiento en sótano. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5020>..... 118 - 119

CONCLUSIONES

Se utilizó el método propuesto por la organización internacional ASHRAE para el cálculo del caudal de extracción en un estacionamiento en sótano, con la cual se llega a determinar la cantidad de caudal de ventilación, donde se obtuvo $8.954 \text{ m}^3/\text{s}$.

La potencia del motor para el ventilador centrífugo se obtuvo mediante la utilización curva característica del ventilador; los datos necesarios que se requirieron, son los del caudal de aire y los datos del ventilador centrífugo. Con estos datos se obtuvo la potencia de 25HP.

La determinación de la cantidad de sensores a utilizar se realizó mediante sus datos técnicos, siendo validado por la normativa UNE 100166:2004 a utilizarlos. De acuerdo al fabricante el área de cobertura no debe solaparse en grandes cantidades. Para cubrir un área de 3284m^2 se requirieron 6 sensores, con la cual se puede controlar el área de una manera eficiente.

Para la variación de velocidad, la cual depende de la cantidad de sensores activados, se configuro al variador, en su modo, frecuencias preestablecidas. La determinación de la frecuencia mínima a utilizar, se estableció mediante "la velocidad del aire en el confort de las personas" la cual es de 0.12m/s a 0.25m/s . en los cálculos se obtuvieron el rango de 0.12m/s a 0.216m/s teniendo caudales en rejilla de $0.451\text{m}^3/\text{s}$ a $0.814\text{m}^3/\text{s}$ respectivamente.

Se realizaron varios cuadros resumen donde se establecieron la función que cumplirán los bornes de entradas y salidas del PLC, también se realizó uno para las variables necesarias para la pantalla HMI; con estos cuadros el proceso de programación se optimizo, reduciendo confusiones y de fácil consulta para la revisión.

Para el diseño del programa se utilizó una estructura de bloques, donde aplicamos los bloques de función FB, función FC y base de datos DB, siendo estos bloques de gran ayuda y que otorgan al programador un orden y maniobrabilidad. Dentro de estos bloques se desarrollarlo la lógica necesaria para que el proyecto funcione de una forma automática.

El programa del PLC, en un gran porcentaje, fue desarrollado el lenguaje Ladder o diagrama de contactos, que el TIA Portal es nombrado como lenguaje de programación KOP; el otro porcentaje está en el lenguaje FUP o diagrama de funciones. esta plataforma de programación otorga bloques de instrucciones avanzadas con las cuales se trabajaron para crear la lógica de creación de reportes "Data Log".

Luego de la instalación de todos los componentes del proyecto en el estacionamiento subterráneo, se procedió con la puesta en servicio del proyecto. Se obtuvieron buenos resultados en las pruebas de funcionamiento; al momento que un sensor llega a detectar una concentración de 35ppm de monóxido de carbono, se activa el motor del ventilador centrífugo a una frecuencia de 33Hz teniendo un consumo de corriente de 22.24A.

Anexo 45. IQAir Staff Writers . (2021). *Mascarillas contra la contaminación del aire: qué funciona y qué no.* Obtenido de <https://www.iqair.com/es/newsroom/air-pollution-masks-what-works-what-doesn-t>

Características recomendadas de unas buenas mascarillas

Las mejores máscaras contra la contaminación del aire filtran hasta el 95 % de las partículas en el aire de hasta 0,3 micras utilizando estándares reconocidos internacionalmente, que incluyen:

- **N95:** NIOSH-42CFR84 (Estados Unidos)
- **KN95:** GB2626-2006 (China)
- **FFP2:** EN 149-2001 (Europa)

Las mascarillas más eficaces filtran hasta el 95 % de las partículas suspendidas en el aire hasta 0,3 micras utilizando estándares reconocidos internacionalmente.

Estas máscaras generalmente se prueban para una eficacia del 95% contra las siguientes partículas en el aire

- PM10
- PM2.5
- bacterias
- virus (tanto gotitas grandes como pequeños aerosoles)
- polen
- esporas de moho
- polvo doméstico

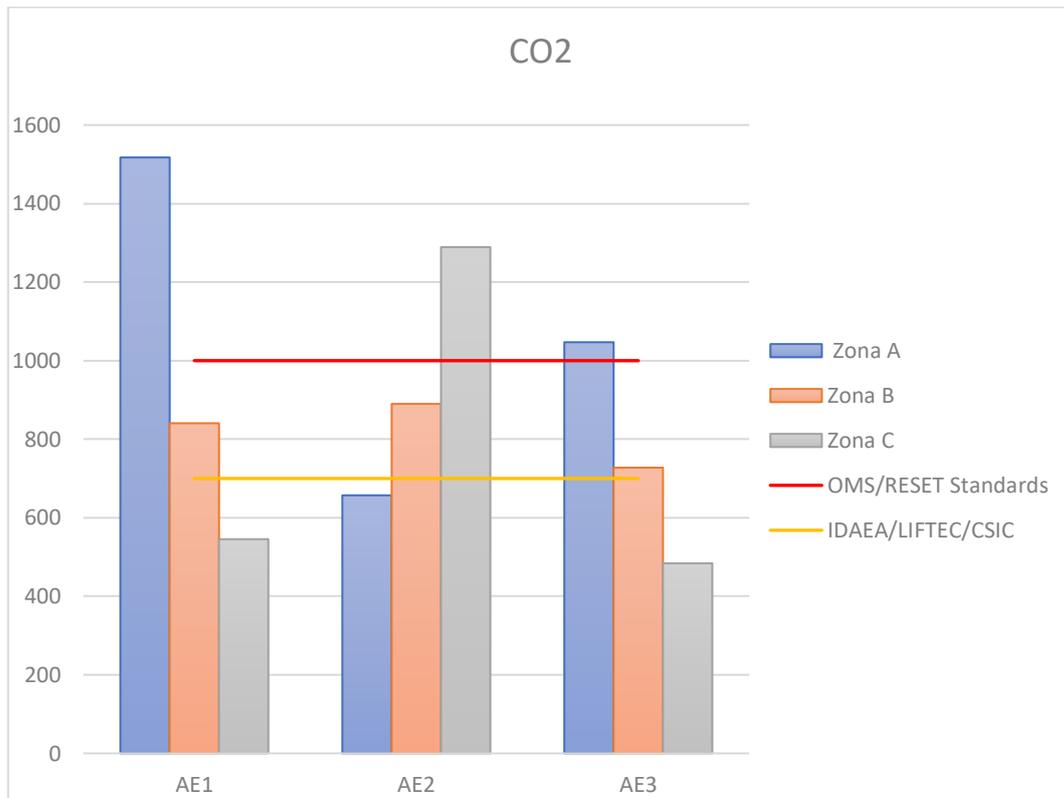
Junto con la eficacia de la filtración, el sello de una mascarilla es sin duda el elemento más importante de una mascarilla eficaz para la calidad del aire.

Una buena máscara contra la contaminación del aire utiliza técnicas de sellado de alta calidad con tela o silicona que permiten que la máscara se ajuste cómodamente al contorno de su rostro. Esto ayuda a evitar que las partículas se filtren dentro o fuera de su máscara de calidad del aire, lo que lo ayuda a protegerse de las partículas en el aire y también protege a los demás de cualquier aerosol infectado que pueda exhalar.

Anexo 46. Datos y gráfico de barras – Normativas y CO2

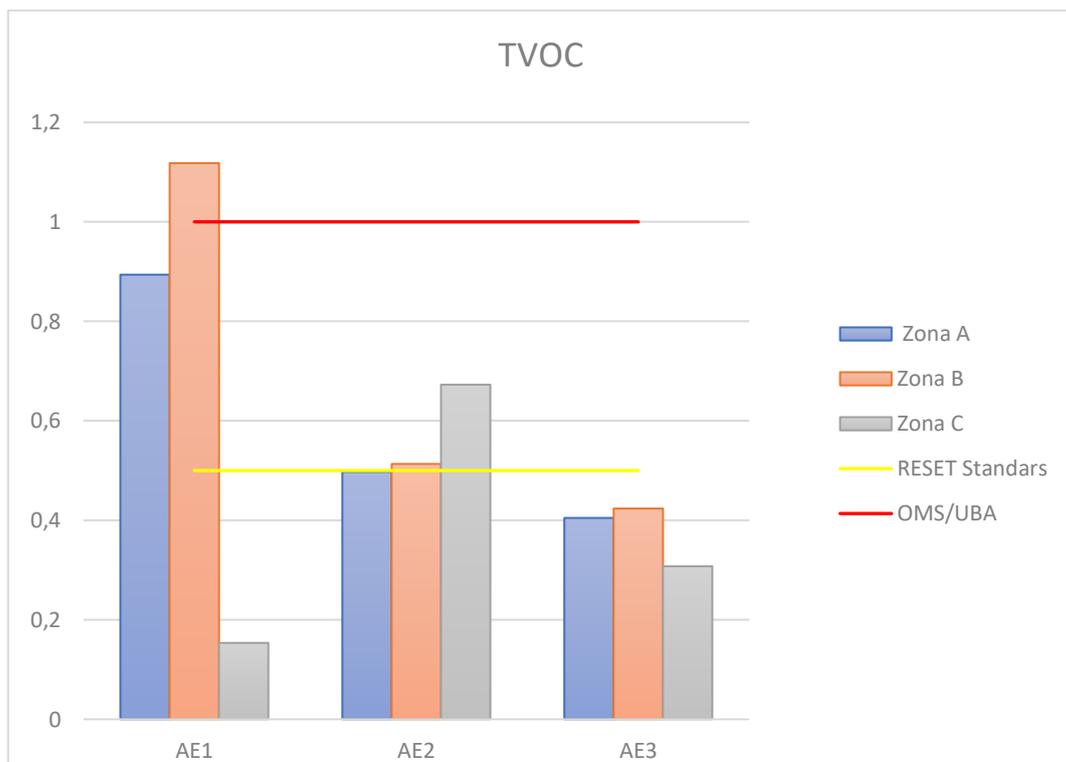
CO2

Zona	AE1	AE2	AE3
Zona A	1517,4	657,15	1046,95
Zona B	840,7	889,9	727,55
Zona C	545,45	1289	484,15
OMS/RESET Standards	1000	1000	1000
IDAEA/CSIC	700	700	700



Anexo 47. Datos y gráfico de barras – Normativas y TVOC

TVOC			
Zona	AE1	AE2	AE3
Zona A	0,89385	0,4975	0,40475
Zona B	1,1181	0,51335	0,42365
Zona C	0,15355	0,6727	0,3077
RESET Standars	0,5	0,5	0,5
OMS/UBA	1	1	1
UBA	1	1	1



Anexo 48. Análisis ANOVA entre escenarios – AE1.**AE1 – CO2 – ZONA A**

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	20	30348	1517,4	1908,04211
Columna 2	20	20039	1001,95	52,9973684

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2656887,03	1	2656887,03	2709,67215	6,1322E-37	4,09817173
Dentro de los grupos	37259,75	38	980,519737			
Total	2694146,78	39				

AE1 – TVOC – ZONA A

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	20	17,877	0,89385	0,00906487
Columna 2	20	12,4	0,62	7,1684E-05

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,74993823	1	0,74993823	164,162138	2,2883E-15	4,098171731
Dentro de los grupos	0,17359455	38	0,00456828			
Total	0,92353278	39				

Anexo 49. Análisis ANOVA entre escenarios – AE2.**AE2 – CO2 – ZONA C**

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	20	20210	1010,5	812,368421
Columna 2	20	25780	1289	1597,47368

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	775622,5	1	775622,5	643,712298	1,9883E-25	4,09817173
Dentro de los grupos	45787	38	1204,92105			
Total	821409,5	39				

AE2 – TVOC – ZONA C

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	20	12,385	0,61925	0,00052609
Columna 2	20	13,454	0,6727	0,00038727

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,02856903	1	0,02856903	62,5576857	1,4993E-09	4,09817173
Dentro de los grupos	0,01735395	38	0,00045668			
Total	0,04592298	39				

Anexo 50. Análisis ANOVA entre escenarios – AE3.**AE3 – CO2 – ZONA A**

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	20	20939	1046,95	56545,2079
Columna 2	20	19925	996,25	9434,51316

ANOVA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	25704,9	1	25704,9	0,77917577	0,38294352	4,09817173
Dentro de los grupos	1253614,7	38	32989,8605			
Total	1279319,6	39				

AE3 – TVOC – ZONA A

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	20	9,018	0,4509	0,02063588
Columna 2	20	8,095	0,40475	0,01010409

ANÁLISIS DE
VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,02129822	1	0,02129822	1,38570211	0,24645302	4,09817173
Dentro de los grupos	0,58405955	38	0,01536999			
Total	0,60535778	39				