



Estimación de COV's emitidos por fuentes fijas y móviles en el aire de la ciudad de Córdoba, Argentina

Rubén Darío Sbarato.

Tesis - Doctor en Ciencias de la Salud - Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Médicas. Secretaría de Graduados en Ciencias de la Salud, 2018

Aprobada: 2018

Este documento está disponible para su consulta y descarga en RDU (Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Córdoba). El mismo almacena, organiza, preserva, provee acceso libre y da visibilidad a nivel nacional e internacional a la producción científica, académica y cultural en formato digital, generada por los miembros de la Universidad Nacional de Córdoba. Para más información, visite el sitio <https://rdu.unc.edu.ar/>

Esta iniciativa está a cargo de la OCA (Oficina de Conocimiento Abierto), conjuntamente con la colaboración de la Prosecretaría de Informática de la Universidad Nacional de Córdoba y los Nodos OCA. Para más información, visite el sitio <http://oca.unc.edu.ar/>

Esta obra se encuentra protegida por una Licencia Creative Commons 4.0 Internacional



Estimación de COV's emitidos por fuentes fijas y móviles en el aire de la ciudad de Córdoba, Argentina por Rubén Darío Sbarato se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS



ESCUELA DE GRADUADOS EN CIENCIAS DE LA SALUD

TESIS DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA SALUD

"Estimación de COV's emitidos por fuentes fijas y móviles en el aire de la Ciudad de Córdoba, Argentina."

RUBÉN DARÍO SBARATO

CÓRDOBA, ARGENTINA

AÑO 2018

Doctorando:

Lic. Rubén Darío Sbarato

Director de Tesis:

Prof. Dr. Marcelo Rubio

Comisión de Seguimiento de Tesis:

Prof. Dr. Jorge Daniel Perez

Prof. Dr. Pedro de León Saracho Cornet

Prof. Dr. Marcelo Rubio

Tribunal de Tesis

Prof. Dr. Jorge Daniel Perez

Prof. Dr. Hugo Oscar Juri

Prof. Dr. Eduardo Alfredo Luccini

A EDELICIO,

***Padre, guía, amigo y cómplice, que alzaste vuelo aquella mañana gris llevándote
mi eternidad, dejando tu recuerdo que no mancha y la sombría certeza de no
haberte dicho jamás cuanto lo amaba.***

Agradecimientos:

A May, Barbi y Tato, mis espejos, armaduras, incentivos y ejemplos. Quienes en clara muestra de terquedad y desatino persisten en estar a mi lado aunque no lo merezca.

A Marcelo Rubio colega, director, maestro, y amigo. Quién me incentivó a seguir adelante, a persistir y presentir que hay algo más, una posibilidad, un camino, un lugar, una sonrisa.

A Jorge Perez y Pedro Saracho, a quienes me unen décadas de historia, de sueños y acciones, éxitos y fracasos, frustraciones y risas. Con quiénes me debo muchas horas compartidas.

A Eduardo Luccini con quien transité quimeras estudiantiles y que hoy me honra siendo tribunal en esta etapa imprescindible de mi vida.

A Hugo Juri, con quién tuve el júbilo de peregrinar la parte más creativa y productiva de mi vida académica.

A los que son parte cardinal e indivisible de mi pasado, mi presente y nuestro futuro. Aquellos que de una manera u otra me hacen sentir que estoy en el lugar correcto y que lo mas lógico es la risa y que la esperanza es un deber para con nosotros.

**REGLAMENTO DE LA CARRERA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA
SALUD:**

Artículo 43: "La Facultad de Ciencias Médicas no se hace solidaria con las opiniones de la tesis".

ÍNDICE.

Tema.	Página.
ABREVIATURAS.	9
RESUMEN	13
ABSTRACT	15
1.- INTRODUCCIÓN.	17
1.1.- ¿QUÉ SON LOS COV's?	18
1.1.1.- Fuentes de Emisión de COV's.	20
1.1.1.a.- Fuentes Naturales.	20
1.1.1.b.- Fuentes Antropogénicas.	20
1.2.- LOS COV's EN EL AMBIENTE.	21
1.2.1.- Benceno.	23
1.2.2.- Tolueno.	24
1.2.3.- Etilbenceno.	25
1.2.4.- Xilenos.	26
1.3.- INVENTARIO DE EMISIONES.	27
1.3.1.- Clasificación de las Fuentes de Contaminación del Aire.	27
1.3.1.a.- Fuentes Puntuales.	28
1.3.1.b.- Fuentes Móviles.	28
1.3.1.c.- Fuentes de Área.	29
1.3.1.d.- Fuentes Naturales.	29
1.3.2.- Metodología del Inventario de Emisiones.	30
1.3.2.a.- Factores de Emisión.	31
1.3.2.b.- Extrapelación.	32
1.4.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE COV's.	32
1.5.- SISTEMA DE MONITOREO DE COV's.	33
1.5.1.- Análisis comparativo de métodos de muestreo y análisis para BTEX en aire.	33
1.5.1.a.- Métodos Analíticos.	35
1.5.2.- Redes Neuronales como instrumento complementario de cálculo de datos perdidos.	35
1.6.- ESTIMACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD.	38
1.6.1.- Toxicología de BTEX.	39
1.6.1.a.- Exposición al Benceno.	39
1.6.1.b.- Exposición al Tolueno.	40
1.6.1.c.- Exposición al Etilbenceno.	42
1.6.1.d.- Exposición a Xilenos.	42
1.7.- PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER.	43
1.8.- OBJETIVOS.	43
1.9.- HIPOTESIS.	44
2.- DISEÑO DEL ESTUDIO O MÉTODOS.	45
2.1.- ESTIMACIÓN DE COV's EMITIDOS POR FUENTES FIJAS Y MÓVILES.	46
2.1.1.- Distribución de Zonas Ambientales.	46
2.1.2.- Inventario de Emisiones de COV's por estaciones de servicio.	46
2.1.2.a.- Georeferenciación de las Estaciones de Servicio de la Ciudad de Córdoba.	47
2.1.2.b.- Estudio del volumen de combustibles por tipo y marca.	48
2.1.2.c.- Criterios de referencia para caracterizar estaciones.	48
2.1.2.d.- Factores de Emisión.	49
2.1.3.- Inventario de Emisiones de COV's por Fuentes Móviles.	50
2.1.3.a.- Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles de la Ciudad de Córdoba 1999.	50
2.1.3.b.- Flota Vehicular por cantidad y tipo de vehículos y por combustible utilizado.	50
2.2.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE COV's.	52

2.2.1.- Datos Meteorológicos.	53
2-3.- SISTEMA DE MONITOREO DE COV´s.	54
2.3.1.- Propósito del SMA.	55
2.3.1.a.- Monitoreo para la evaluación de desempeño.	55
2.3.1.b.- Monitoreo para la evaluación de tendencias.	56
2.3.1.c.- Monitoreo para investigaciones relacionadas a salud.	56
2.3.1.d.- Monitoreo para alertas ambientales.	56
2.3.2.- Establecimiento de la escala espacial del SMA.	57
2.3.3.- Ubicación del sitio de monitoreo.	58
2.3.3.a.- Seguridad.	58
2.3.3.b.- Logística.	58
2.3.4.- Monitor de COV´s con procedimiento homologado por U.S.EPA.	60
2.3.4.a.- Procedimiento de simulación para el resto del año.	60
2.4.- ESTIMACIÓN DE RIEGOS PARA LA SALUD.	61
2.4.1.- Porcentajes de BTEX en atmósfera de la Ciudad de Córdoba.	61
2.4.2.- Niveles guía, normas y riegos adicionales de contraer cáncer.	63
2.4.3.- El tiempo de exposición de la población transeúnte en el microcentro.	65
2.4.4.- La distribución de población por grupo etario.	66
2.4.5.- Datos medidos de ciudades del mundo comparables a la Ciudad de Córdoba.	66
3.- RESULTADOS.	67
3.1.- ESTIMACIÓN DE COV´s EMITIDOS POR FUENTES FIJAS Y MÓVILES.	68
3.1.1.- Inventario de emisiones de COV´s por estaciones de servicio.	68
3.1.1.a.- Georeferenciación de las estaciones de servicio de la Ciudad de Córdoba.	68
3.1.1.b.- Estudio del volumen de combustibles por tipo y marca.	68
3.1.1.c.- Resultado.	70
3.1.2.- Inventario de emisiones de COV´s por fuentes móviles.	71
3.1.2.a.- Inventario Ciudad de Córdoba 1999.	71
3.1.2.b.- Flota vehicular por número de vehículos, por tipo y por combustible utilizado.	71
3.1.2.c.- Resultado.	73
3.2.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE COV´s.	75
3.2.1.- Datos Meteorológicos.	75
3.2.2.- Resultados.	79
3.3.- SISTEMA DE MONITOREO DE COV´s.	83
3.3.1.- Monitor de COV´s con procedimiento homologado por U.S.EPA.	83
3.3.1.a.- Procedimiento de simulación para el resto del año.	85
3.4.- ESTIMACIÓN DE RIESGO PARA LA SALUD.	86
3.4.1.- Tiempo de permanencia en microcentro de la población transeúnte.	87
3.4.2.- Estimación de porcentaje de Benceno en COV´s totales.	88
3.4.2.a.- Determinación de BTEX en muestra de nafta conformada.	88
3.4.2.b.- Últimas mediciones Ciudad de Córdoba.	89
3.4.2.c.- Revisión bibliográfica.	90
3.4.3.- Datos Demográficos de la Ciudad de Córdoba.	91
3.4.4.- Datos bibliográfico indexados de Benceno en 65 Ciudades del mundo.	92
3.4.5.- Riesgo adicional de contraer cáncer y otras enfermedades.	94
3.4.5.a.- Riesgo de contraer enfermedades por exposición a Tolueno y Xileno ambiental.	94
3.4.5.b.- Riesgo adicional de contraer cáncer por exposición al Benceno.	94
4.- DISCUSIÓN.	96
4.1.- INVENTARIO DE EMISIONES DE COV´s POR ESTACIONES DE SERVICIO.	98
4.2.- INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES MÓVILES.	99
4.3.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE COV´s.	101

4.4.- SISTEMA DE MONITOREO DE COV´s.	103
4.6.- ESTIMACIÓN DE RIEGOS PARA LA SALUD.	106
4.7.- CONCLUSIONES.	109
4.8.- SUGERENCIAS.	110
4.9.- PERSPECTIVAS FUTURAS.	111
5.- BIBLIOGRAFÍA.	112
6.- ANEXOS.	127

ABREVIATURAS.

A: Tasa de actividad.

AEMA: Agencia Europea de Medio Ambiente.

AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors.

ATSDR: Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

B: Concentración de Benceno.

BTEX: Subgrupo de los COV`s, conformado por Benceno, Etilbenceno, Tolueno, orto-Xileno, meta-Xileno y para-Xileno.

°C: Grados Centígrados.

CARB: California Air Resources Board.

CEPROCOR: Centro de Excelencia en Productos y Procesos Córdoba.

CO: Monóxido de Carbono.

COV`s: Compuestos Orgánicos Volátiles.

COVNM: Compuestos Orgánicos Volátiles no Metánicos.

DHHS: Departamento de Salud y Servicios Humanos .

E: Tasa de emisión expresada en unidades de masa por unidad de tiempo.

Eb: Concentración de Etilbenceno.

FE: Factor de emisión expresado en masa de contaminante emitido por unidad de actividad.

FTIR: Espectrometría Infra roja de Transformada de Fourier.

g/cm³: Gramos por centímetros cúbicos.

g/mol: Gramos por mol.

GC/ECD: Cromatografía de Gases/Detector de Captura de Electrones.

GC/FID: Cromatografía de Gases/Detector de Ionización de Flama.

GC/MS: Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas.

GC/NSD: Cromatografía de Gases/Detector Selectivo de Nitrógeno.

GC/PID: Cromatografía de Gases/Detector de Fotoionización.

GOR: Gases Orgánicos Reactivos.

HC: Hidrocarburos.

HDDV: Heavy Duty Diesel Vehicles.

HDDV: Heavy Duty Diesel Vehicles.

hPa: HectoPascal.

ICSC: International Chemical Safety. Cards.

IDLH: Inmediatamente peligroso para la vida y la salud; 30 minutos.

ILO/OIT: International Labour Organization/Organización Internacional del Trabajo.

INDEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

INECC: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCS: International Programme on Chemical Safety.

IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación,

ISC3: Industrial Source Complex.

ITV: Inspección Técnica Vehicular.

°K: Grados Kelvin.

LDGT1: Light Duty Gasoline Trucks 1.

LDGT2: Light Duty Gasoline Truck 2.

LDGT2: Light Duty Gasoline Trucks 2.

LDGV: Light Duty Gasoline Vehicles.

LDGV: Light Duty Gasoline Vehicles.

mg/l: Miligramos por litro.

MLP: Perceptrón Multi Capa.

NAPS: National Air Pollution Surveillance

NIOSH: Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y Salud.

NO: Monóxido de Nitrógeno.

NO2: Dióxido de Nitrógeno.

NO_x: Óxidos de Nitrógeno.

O*: Oxígeno.

O₂: Oxígeno Molecular.

O₃: Ozono.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PAH: Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos.

PAN: Nitrato de Peroxiacetilo.

PM₁₀: Material Particulado menores a 10µm.

PM_{2,5}: Material Particulado menores a 2,5µm.

ppb: partes por billón en volumen.

ppm: partes por millón en volumen .

PST: Material Particulado Total.

RNA: Redes Neuronales Artificiales.

SCREEN: Software de Modelación de Dispersión de Contaminantes. U.S.EPA, 2000

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.

SMA: Sistema de Monitoreo de Aire

SMA-DF: Sistema de Monitoreo de Aire - México Distrito Federal.

SMN: Servicio Meteorológico Nacional.

SNC: Sistema Nercioso Central.

SO_x: Óxidos de Azufre.

T: Concentración de Tolueno.

TD/GC/MS: Desorción térmica/Cromatografía de gases/Espectrometría de Masas.

U.S.EPA: United States Environmental Protection Agency.

UNEP/PNUMA: United Nations Environmental Programme/Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

USA: United States of America

UTN: Universidad Tecnológica Nacional.

UV: Ultra Violeta.

WHO/OMS: World Health Organization/Organización Mundial de la Salud.

X: Concentración de Xilenos.

RESUMEN

La Ciudad de Córdoba contó, a fines de siglo XX, con una red de monitoreo de contaminantes atmosféricos con la que se midieron rutinaria y sistemáticamente NO₂, SO₂, CO, O₃ y PM₁₀. En el caso los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's), los datos medidos son escasos y corresponden a una campaña del año 1998. Este trabajo parte de la necesidad de disponer de mediciones de concentración COV's para la evaluación del riesgo para la salud y para la toma de decisiones en políticas públicas y privadas, ya que las mismas requieren información sobre los niveles de exposición de la población al contaminante, el número de personas expuestas, el tiempo de exposición y el conocimiento de las relaciones cuantitativas entre exposición y efectos en la salud. En el año 2009 cincuenta y dos de cada cien habitantes habilitados para obtener carnet de conducir tenían vehículos. En 2015, 94 de cada 100 habitantes posibilitados lo tenían. En solo 6 años el crecimiento de la flota vehicular fue del 186%, mientras que la población creció menos que un 4%, de seguir en esta relación de crecimiento en 2021 habrá 170 vehículos por cada 100 personas que estén en condiciones legales de obtener licencia. Para realizar el monitoreo se optó por el protocolo de medición U.S.EPA TO14 apéndice B, 1999, y se contó con un monitor portátil de detección de compuestos orgánicos volátiles, marca RAE Systems modelo ppbRAE 3000 con un tiempo de respuesta de 3 segundos, con rango ampliado en su detector de fotoionización (PID) de 1 ppb a 10.000 ppm. Presentamos los resultados estacionales y anuales de las mediciones de COV's, la determinación de tiempos de exposición de la población transeúnte de la zona en estudio, la caracterización de flota vehicular y el modelado de las concentraciones del contaminante a partir del Inventario de Emisiones de COV's por fuentes móviles en la Ciudad de Córdoba. Se determinó el riesgo aumentado de contraer leucemia mielóide aguda debido a una exposición de por vida a Benceno y se estimaron riesgos de los BTEX no carcinogénicos. Las pérdidas totales de COV's, distribuidas en las 144 cuadrículas ambientales que comprenden el territorio de la ciudad de Córdoba, de las estaciones de servicio son de 2.200 m³ al año, mientras que las emisiones totales de COV's debidas al parque automotor son 45.000 m³ por año. El valor de concentración de COV's máximo, correspondiente al modelado invernal en el microcentro de la Ciudad de Córdoba (cuadrícula H6) es de 50 ppb, de los que las fuentes móviles aportan $(46 \pm 1)ppb$. El valor de COV's medido para invierno en la cuadrícula H6 es de $(56 \pm 1) ppb$. El valor. El valor de concentración de COV's máximo, correspondiente al modelado invernal en el microcentro (cuadrícula H6) es de 50 ppb, de los que las fuentes móviles aportan 46 ppb. El valor de COV's medido para invierno en la cuadrícula H6 es de $56 \pm 1ppb$. El valor

anual de COV's es de $51 \pm 1\text{ppb}$. De acuerdo a la bibliografía, en sitios urbanos con actividad comercial y de servicios predominantes, el porcentaje de BTEX dentro de los COV's está entre un mínimo de 15% y un máximo de 20%. Nuestra concentración de BTEX oscila entonces entre $8 \pm 1\text{ppb}$ y $10 \pm 1\text{ppb}$. Si utilizamos como insumo las últimas mediciones oficiales realizadas en la Ciudad de Córdoba por el Observatorio Ambiental en 1998, obtenemos para el Benceno un valor comprendido entre un mínimo de 1,6 [ppb] y un máximo de 2,3 [ppb], para el Tolueno un valor comprendido entre un mínimo de 2,5 [ppb] y un máximo de 3,9 [ppb], para el Etilbenceno un valor comprendido entre un mínimo de 0,7 [ppb] y un máximo de 0,9 [ppb] y para los Xilenos un valor comprendido entre un mínimo de 2,5 [ppb] y un máximo de 3,9 [ppb]. El tiempo de permanencia en el microcentro de la ciudad, obtenido a partir de 5720 encuestas, es de 1400 ± 100 horas de exposición anual. Para que los efectos de Tolueno y Xileno ambiental, comiencen a verificarse, necesitamos concentraciones en aire superiores a 50 y 30 ppm, respectivamente, por lo que los efectos sobre el SNC debido a la exposición para aire de la vía pública no se verifican. En las estaciones de servicios, que por ser un espacio privado no pudimos efectuar mediciones, utilizamos estimaciones con SCREEN3 y estimamos que el valor promedio en el año es de 10 ppm, valor que nos alerta sobre posibles efectos sobre la salud debido a la exposición en el aire ambiente en estos establecimientos. El riesgo adicional de contraer leucemia mieloide aguda es de 6 enfermos por cada millón de personas expuestas a 0,31 ppb de Benceno. Debido a que las concentraciones de Benceno oscilan, entre un mínimo de 1,6 ppb y un máximo de 2,3 ppb, el riesgo de contraer la enfermedad se encuentra entre 31 y 45 enfermos por cada millón de personas. De acuerdo a nuestro estudio los transeúntes del centro de la ciudad están el 16% de su tiempo en el lugar, por lo que, dentro del grupo en estudio tenemos entre 5 y 8 personas cada millón con riesgos de enfermar. Los COV's determinados en este trabajo actúan en sinergia con el resto de los contaminantes y la ciudad de Córdoba tenía hace dos décadas alertas ambientales por CO y PM_{10} generados por fuentes móviles, debemos asumir que ese problema se agudizó. Además, los contaminantes que no eran problematicos, como el SO_2 , el NO_2 y el O_3 , deben estar manifestándose. Se desprende que determinar la contribución de cada compuesto a la contaminación atmosférica y la toma de medidas tendientes a revertir procesos es una necesidad imperiosa y urgente.

Palabras Clave: *Contaminación atmosférica, Ambiente, Córdoba, COV's, Inventario de emisiones.*

ABSTRACT

At the end of the 20th century Córdoba city had a monitoring system of atmospheric pollutants with which NO₂, SO₂, CO, O₃ and PM₁₀ were routinely and systematically measured. In the case of the Volatile Organic Compounds (VOC's) the measured data that correspond to a campaign of 1998 are insufficient.

This work started because of the need to have VOC's concentration measurements so we can evaluate the health risk. Having this kind of data can also help to do some decision making in public and private policies. So this measurements bring some information on the levels of exposure of the population to the pollutant, the number of people exposed, the exposure time and the knowledge of the quantitative relationships between exposure and the consequences.

In 2009, 52 out of every hundred inhabitants authorized to obtain a driver's license had vehicles. In 2015, 94 of every hundred inhabitants made it possible. In 6 years only the growth of the vehicle fleet was 186%, while the population grew less than 4%. If this growth ratio continues in 2021 there will be 170 vehicles for every 100 people who are in legal status to drive.

The USEPA TO14 appendix B, 1999 measurement protocol was chosen to do the monitoring. And we also used a portable monitor for the detection of VOC's. The portable monitor is a RAE Systems model (ppbRAE 3000), with a response time of 3 seconds and with a range expanded in its photoionization detector (PID) from 1 ppb to 10,000 ppm.

We present the seasonal and annual results of the measurements of VOC's and the determination of exposure times of the transient population of the study area and the characterization of the vehicle fleet and finally the modeling of pollutant concentrations from the Emissions Inventory of VOC's by mobile sources in the City of Córdoba.

The increased risk of acquiring acute myeloid leukemia due to a lifetime exposure to Benzene was determined and we also determined the risks of non-carcinogenic BTEX.

The total emissions of VOC's of the service stations distributed in the 144 environmental grids that comprise the territory of Córdoba are 2,200 m³ per year. While the total emissions of VOC's due to the vehicle fleet are 45,000 m³ per year. The maximum VOC's concentration value, corresponding to the winter modeling in the microcenter (grid H6) is 50 ppb, of which the mobile sources contribute in 46 ppb. The value of VOC's measured for winter in grid H6 is 56 ± 1ppb. The annual value of VOC's is 51 ± 1ppb.

In urban sites with predominant commercial the percentage of BTEX within VOC's is between a minimum of 15% and a maximum of 20% according to the bibliography. Our BTEX concentration oscillates between 8 ± 1 ppb and 10 ± 1 ppb. If we use as the input the last official measurements made in the City of Córdoba by the Environmental Observatory in 1998, we obtain for the Benzene a value between a minimum of 1.6 [ppb] and a maximum of 2.3 [ppb], for the Toluene a value between a minimum of 2.5 [ppb] and a maximum of 3.9 [ppb], for the Ethylbenzene a value between a minimum of 0.7 [ppb] and a maximum of 0.9 [ppb] and for Xylens a value between a minimum of 2.5 [ppb] and a maximum of 3.9 [ppb]. The stay time in the city's microcenter is 1400 ± 100 hours of annual exposure and it was obtained from 5720 surveys. For the effects of toluene and environmental Xylene, to begin to persist, we need respectively air concentrations above 50 and 30 ppm. So the effects on the CNS due to air exposure are not verified.

The service stations are private properties so we were not able to make measurements there. Instead we used estimates with SCREEN3 and we estimate that the average value in the year is 10 ppm, a value that alerts us to possible health effects due to exposure in the ambient air in these establishments.

The additional risk of acquiring acute myeloid leukemia is 6 patients per million people exposed to 0.31 ppb of Benzene. But the Benzene concentrations range goes from a minimum of 1.6 ppb to a maximum of 2.3 ppb so the risk of contracting the disease is between 31 and 45 patients per million people. According to our study people who use to go to the city center actually spend the 16% of their time in the place. So within the study group we can say that we have between 5 and 8 people per million with risks of getting sick.

The VOC's determined in this work act in synergy with the rest of the polluters and the city of Córdoba. In Córdoba we had environmental warnings by CO and PM₁₀ generated by mobile sources two decades ago. So we must assume that this problem was exacerbated. In addition, pollutants that were not problematic, such as SO₂, NO₂ and O₃, must be manifesting. It is clear that determining the contribution of each compound to air pollution and taking measures to reverse this processes is an urgent need.

Keywords: Atmospheric pollution, Environment, Córdoba, VOC's, Inventory of emissions.

INTRODUCCIÓN

1.1.- ¿QUÉ SON LOS COV's?

El aire es una mezcla de gases, de naturaleza diversa, que circundan a nuestro planeta. La composición química del aire varía con la altura. Mientras en las regiones superiores aumenta la cantidad de gases ligeros, con predominio del hidrogeno, en la biosfera la composición promedio del aire seco, en porcentajes en volumen, es la siguiente (ver Tabla 1):

ELEMENTO	% V/V
nitrógeno	78.084
oxígeno	20.946
argón	0.934
neón	0.0018
helio	0.000524
metano	0.0002
kriptón	0.000114
hidrógeno	0.00005
óxido nitroso	0.00005
xenón	0.000087

Tabla 1: Composición promedio del aire seco en la biosfera.

Otros compuestos importantes que se encuentran presentes en el aire en concentración variable son: vapor de agua, dióxido de carbono, ozono, dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. En la atmósfera urbana, y más específicamente en la tropósfera, se emiten otros compuestos en concentraciones menores, del orden de partes por millón en volumen (ppm) o partes por billón en volumen (ppb).

Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's) que provienen de fuentes fijas (industrias, servicios domésticos y de origen biogénico) y móviles (transporte vehicular), son parte de estos compuestos traza, y contribuyen de manera importante a la contaminación atmosférica.

El interés en los COV's fue establecido hace ya cincuenta años (Haagen-Smit, 1952), en los primeros estudios sobre el smog en la ciudad de Los Angeles (USA), y radica en su importancia en los procesos químicos de la atmósfera. Él identificó la importancia de la oxidación de los hidrocarburos en presencia de radiación solar y óxidos de nitrógeno, como fuente de fotoquímicos, de ozono y otros oxidantes. La comprensión detallada de los mecanismos de formación de smog fotoquímico fue desarrollada desde entonces por la combinación de cámaras de smog, cinética química en laboratorio, monitoreo de la calidad de aire y por el modelado matemático.

Los COV's son una variedad de contaminantes del aire que se encuentran comúnmente en la atmósfera en diversos niveles de concentración, en todos los centros urbanos e industriales.

Existen cientos de compuestos (Sbarato *et al*, 2001) que pueden considerarse, o no dentro de la categoría de COV's ya que la situación se complica por las diferentes definiciones y nomenclaturas. Estrictamente hablando, el término COV's se refiere a aquellos compuestos orgánicos que están presentes en la atmósfera en forma gaseosa los cuales bajo condiciones normales de presión y temperatura podrían ser líquidos o sólidos.

Un COV's es por definición un compuesto cuya presión de vapor, a 20 C°, es menor que 1013 hPa y mayor que 1,3 hPa o que tiene una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso (Directiva Europea de Calidad del Aire, 2000). Cabe aclarar que si estos límites, superior e inferior, fueran establecidos rígidamente muchos compuestos orgánicos comunes e importantes quedarían excluidos.

Es por eso que esta definición estricta no se aplicará al termino COV's, si no que los entenderemos como aquellos compuestos carbonados que se encuentran en la atmósfera, excluyendo el carbono elemental, el monóxido de carbono y el dióxido de carbono. Otros términos usados por la bibliografía para representar los COV's son Hidrocarburos (HC), Gases Orgánicos Reactivos (GOR) y Compuestos Orgánicos Volátiles no Metánicos (COVNM).

Los COV's son, entonces, compuestos gaseosos que se destacan en varios aspectos por su impacto en el ambiente y en la salud humana.

Por un lado actúan como precursores para la formación de ozono, que a su vez es un gas tóxico, que irrita a las mucosas, reduce la capacidad física en el humano, y causa daño a la vegetación (Arriaga-Colina *et al*, 2004). Por otro lado, dentro del grupo de los COV's, se encuentran algunos gases cancerígenos (como el Benceno) y otros probablemente cancerígenos (como el formaldehído, el 1,3-butadieno, el acetaldehído, y los estírenos (CARB, 1989).

Con respecto al Benceno, uno de los compuestos cancerígenos más abundantes por las emisiones vehiculares, no existe recomendación por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para su límite máximo, aunque si existe el valor del riesgo adicional de contraer cáncer, estimado a partir de una exposición de por vida a una concentración de $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2000). En la Comunidad Europea (Directiva Europea de Calidad del Aire, 2000) se estableció como límite máximo permisible $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1,57 ppb) como promedio anual

de Benceno. No existen aún normas para COV's totales, sin embargo y en vista de la preocupación a nivel internacional sobre sus efectos en la salud y el grado de desarrollo de medidores continuos de COV's totales, es de esperar una norma al respecto a mediano plazo.

1.1.1.- Fuentes de emisión de COV's.

1.1.1.a.- Fuentes naturales.

Los bosques constituyen las principales fuentes naturales de emisión de COV's a la atmósfera.

La vegetación superior que forma los bosques, principalmente las coníferas, tienen células secretoras de compuestos químicos volátiles. Preferentemente derivados del isopreno y se denominan compuestos terpénicos. Dentro de estos los principales son los monoterpenos con el alfa-pineno, el beta-pineno y el limoneno (ver Tabla 2).

Compuesto	Concentraciones en ppb		
	B. de Georgia	B. de Roma	B. de los Apalaches
Isopreno	1.4	-	0.1
a-pineno	0.8	1.5	0.03
b-pineno	0.43	0.18	-
d-careno	0.9	0.06	-
Canfeno	0.09	-	-
d-limoneno	0.08	0.04	
b-mirceno	0.068		

Tabla 2: Concentraciones características de terpenos de distintos bosques (Sbarato *et al*, 2001).

1.1.1.b.- Fuentes antropogénicas.

Las fuentes antropogénicas de emisión de volátiles son muy numerosas e incluyen fuentes tanto fijas, fuentes de áreas y fuentes móviles.

A continuación se presenta un listado de algunas actividades industriales generadoras de volátiles.

Emisiones provenientes de la industria petrolera: Esta actividad produce principalmente emisión de hidrocarburos alifáticos y aromáticos procedentes de las torres de destilación, craqueo y refinado de combustibles.

Emisiones producidas por la fabricación de semiconductores. Los principales compuestos emitidos son: acetona, isopropanol, dimetil, éteres de glicol, acetato de etilo, butilo, etc.

Emisiones producidas en depósitos de combustibles y en estaciones expendedoras. Se emiten principalmente hidrocarburos alifáticos y aromáticos provenientes de naftas e hidrocarburos más pesados provenientes de gasoil.

Emisiones producidas en talleres de pintura de vehículos y otros elementos. Se emiten fundamentalmente solventes orgánicos polares como alcoholes, éteres y ésteres, compuestos orgánicos halogenados y no polares como isoparafinas e hidrocarburos aromáticos como tolueno, Xilenos y Etilbenceno.

Emisiones producidas por fuentes móviles. Estas son las fuentes más importantes de COV's por la magnitud del parque automotor tanto público como privado. Las emisiones son principalmente hidrocarburos alifáticos como el isopentano, hexano, isooctano e hidrocarburos aromáticos como el Benceno, tolueno, Xilenos, dimetil y trimetilbencenos; todos ellos como resultados de la combustión incompleta de los motores ciclo Otto. Los vehículos adecuados para el uso de gas natural como combustible emiten principalmente metano y los de ciclo Diesel, hidrocarburos pesados.

En la Ciudad de Córdoba la totalidad de la flota, incluidas las motocicletas, es de aproximadamente 800.000 vehículos, una cifra que se aproxima la cantidad de habitantes en condiciones de obtener carnet de conducir.

Emisiones producidas por talleres de impresión gráfica y tintorerías con sistemas de limpieza en seco. Se emiten compuestos orgánicos halogenados como cloruro de metileno, tricloroetileno, tricloroetano, etc., todos ellos de gran volatilidad y alta toxicidad.

Emisiones producidas en áreas de desinfección sanitaria en hospitales y en establecimientos de gran concurrencia pública. Se emiten compuestos halogenados como diclorobenceno y fenoles antisépticos como los cresoles.

La determinación tanto de las concentraciones totales de COV's, como de la concentración de las especies individuales, que los constituyen, es de gran utilidad para planificar estrategias de control de emisiones, además permiten conocer la contribución de las diferentes fuentes emisoras.

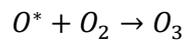
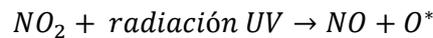
1.2.- LOS COV's EN EL AMBIENTE.

El ritmo progresivo de consumo de combustibles fósiles conlleva a un menoscabo ambiental cuyos efectos se manifiestan gradualmente en relación con el cambio climático y con la mortalidad y morbilidad de seres humanos. Esto se debe a la liberación de una gran diversidad de sustancias contaminantes con diversos niveles de toxicidad (García, 2010).

La importancia de los COV's reside en que contribuyen a la formación de ozono (O_3) troposférico al reaccionar con otros contaminantes atmosféricos (como óxidos de nitrógeno) y con la luz solar (Duan, *et. al.*, 2008).

El O_3 troposférico es el componente más dañino del smog fotoquímico y causa daños importantes a la salud y frena el crecimiento de las plantas y los árboles (Primo, 1996).

El smog fotoquímico se origina por la presencia de gases como el O_3 , nitrato de peroxiacetilo (PAN) y otros oxidantes fotoquímicos, que proceden de la fotólisis de los óxidos de nitrógeno.



NO_2 = dióxido de Nitrógeno

NO = monóxido de Nitrógeno

O^* = Oxígeno

O_2 = Oxígeno molecular

UV = Ultra Violeta

En ausencia de hidrocarburos el O_3 reacciona con el NO para formar de nuevo NO_2 , pero en presencia de hidrocarburos los radicales orgánicos oxidados oxidan al NO formando NO_2 , con lo que el O_3 se acumula y quedan radicales orgánicos libres. Los radicales libres reaccionan entre sí y con los contaminantes primarios y forman oxidantes como el PAN y los aldehídos (Carter, 1994).

Los BTEX son un subgrupo de los COV's, conformado por el Benceno, el Etilbenceno, el Tolueno, el orto-Xileno, el meta-Xileno y el para-Xileno; son compuestos aromáticos que forman parte natural de los hidrocarburos y que son aditivados a las naftas para aumentar su octanaje. Los principales factores que afectan su tasa de emisión al aire son la calidad de los combustibles usados, el tráfico vehicular y las pérdidas de compuestos volátiles en la cadena de distribución de combustibles; la inmisión o concentración en la atmósfera está afectada por la tasa de emisión y las condiciones meteorológicas y, finalmente, la exposición está condicionada por la inmisión y el tiempo de permanencia en el sitio contaminado. Si determinamos la tasa de emisión, la meteorología de la ciudad, el tiempo de exposición de la población, podremos calcular la dosis absorbida por la población expuesta (Albert, 2006), (Vega de Kuyper, 2007).

Los BTEX son producidos a gran escala como materia prima para varias industrias, son una de las principales causas de contaminación ambiental debido a frecuentes fugas y derrames de combustibles (Koss y Tessaraux, 1999).

La industria petrolera es fuente de la mayoría de los productos químicos en uso, siendo las naftas uno de los derivados de esta industria que más se producen y consumen, por lo que cualquier fracción relativamente pequeña que escape durante los procesos productivos, de manejo, transporte, distribución o consumo significa grandes cantidades de compuestos que entran al ambiente, contaminando agua, aire y suelo (Swoboda-Colberg, 1995). Las naftas están constituidas aproximadamente por un 70% de compuestos alifáticos saturados y 30% son hidrocarburos aromáticos como los BTEX (Hartley y Englade, 1992).

1.1.1.- Benceno.

El Benceno (ATSDR, 2007 a), (ICSC 0015, 2003), (Espinosa Rubio, 2008), cuya fórmula molecular es C_6H_6 , es un líquido incoloro con olor dulce y su umbral olfativo es de 12 ppm (Arenal, 1995).

Su representación esquemática se muestra en la Figura 1.

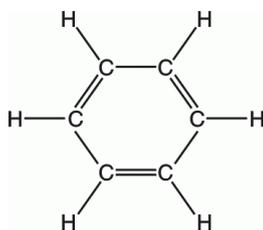


Figura 1: Representación esquemática del Benceno.

En la Tabla 3 se presentan sus principales propiedades.

PROPIEDADES BENCENO	
Fórmula molecular	C_6H_6
<i>Propiedades físicas</i>	
Apariencia	Incoloro
Densidad	0,8786 g/cm ³
Masa molar	78,1121 g/mol
Punto de fusión	278,6 °K (5 °C)
Punto de ebullición	353,2 °K (80 °C)
Presión de vapor	130 hPa
<i>Propiedades químicas</i>	
Solubilidad en agua	1.790 mg/l
<i>Peligrosidad</i>	
Punto de inflamabilidad	262 °K (-11 °C)

Temperatura de autoignición	834 °K (561 °C)
Límites de explosividad	1.3% - 7.9%
Condiciones estándar (25 °C y 1013,25 hPa).	

Tabla 3: Propiedades fisicoquímicas del Benceno.

En fase de vapor, reacciona en el aire con radicales hidroxilo generados por vía fotolítica, lo cual, constituye un mecanismo para su degradación con un tiempo de vida media de 13 días.

1.1.2.- Tolueno.

El Tolueno (ATSDR, 2000), (ICSC 0078, 2002 a), (Espinosa Rubio, 2008), cuya fórmula molecular es $C_6H_5CH_3$, es un líquido incoloro transparente, con olor dulce y su umbral olfativo es de 2,9 ppm (Arenal, 1995). La concentración ambiental promedio varía de 1,33 a 40 ppb (OMS, 2004).

Su representación esquemática se muestra en la Figura 2.

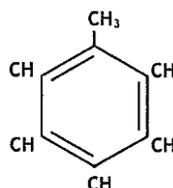


Figura 2: Representación esquemática del Tolueno.

En la Tabla 4 se presentan sus principales propiedades.

PROPIEDADES TOLUENO	
Fórmula molecular	$C_6H_5-CH_3$
<i>Propiedades físicas</i>	
Apariencia	Incoloro
Densidad	0.8669 g/cm ³
Masa molar	92.1381 g/mol
Punto de fusión	178,2 K (-95 °C)
Punto de ebullición	383,8 K (111 °C)
Presión de vapor	37,8 hPa
<i>Propiedades químicas</i>	
Solubilidad en agua	470 mg/l
<i>Peligrosidad</i>	
Punto de inflamabilidad	277 °K (4 °C)
Temperatura de autoignición	873 °K (600 °C)
Límites de explosividad	1.2% - 7.1%
Condiciones estándar (25 °C y 1013,25 hPa).	

Tabla 4: Propiedades fisicoquímicas del Tolueno.

El tiempo de vida media de su volatilización desde ríos y lagos contaminados se ha estimado en 1 hora y 4 días respectivamente, disminuyendo con la mayor cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

En el aire reacciona con los radicales hidroxilo generados por vía fotoquímica en un tiempo de vida medio de 3 días.

El Tolueno se encuentra en forma natural en petróleo crudo y en el árbol de Tolú (*Myroxylon toluifera*) que se encuentra desde México hasta Argentina.

1.1.3.- Etilbenceno.

El Etilbenceno (ATSDR, 2007 b), (ICSC 0268, 2007), (Espinoza Rubio, 2008), cuya fórmula molecular es C_8H_{10} , es un líquido incoloro, con olor aceitoso y su umbral olfativo es de 2,3 ppm (Arenal, 1995).

Su representación esquemática se muestra en la Figura 3.

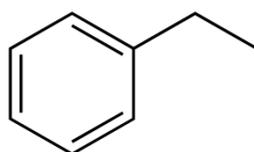


Figura 3: Representación esquemática del Etilbenceno.

En la Tabla 5 se presentan sus principales propiedades.

PROPIEDADES ETILBENCENO	
Fórmula molecular	C_8H_{10}
<i>Propiedades físicas</i>	
Apariencia	Incoloro
Densidad	0.8665 g/cm ³
Masa molar	106.17 g/mol
Punto de fusión	-94,9°C
Punto de ebullición	136°C
Presión de vapor	8,9 hPa
<i>Propiedades químicas</i>	
Solubilidad en agua	15 mg/l
Peligrosidad	
Punto de inflamabilidad	18°C
Temperatura de autoignición	432°C
Límites de explosividad	1.0 - 6.7%
Condiciones estándar (25 °C y 1013,25 hPa).	

Tabla 5: Propiedades fisicoquímicas del Etilbenceno.

El Etilbenceno pasa fácilmente al aire desde el agua y el suelo. El que se encuentra en el suelo también puede contaminar el agua subterránea.

El Etilbenceno en el aire es degradado en menos de 3 días con la ayuda de la luz solar, en agua de superficie, por ejemplo en ríos y lagos, se degrada al reaccionar con otros compuestos presentes en el agua, en el suelo, es degradado por bacterias.

1.1.4.- Xilenos.

El Xileno xilol o dimetilbenceno (ATSDR, 2007 c), (ICSC 0084, 2002 b), (ICSC 0085, 2002), c (ICSC 0086, 2002 d), (Espinosa Rubio, 2008), (Makumdar *et al*, 2011), cuya fórmula molecular es $C_6H_4(CH_3)_2$, es un líquido incoloro, de olor dulce y su umbral olfativo de 1,1 ppm. El término Xilenos totales se refiere a los tres isómeros del Xileno (m-, o-, y p-Xileno). La mezcla de Xileno contiene los tres isómeros y generalmente también contiene 6 a 15% de Etilbenceno.

Sus representaciones esquemáticas se muestran en la Figura 4.

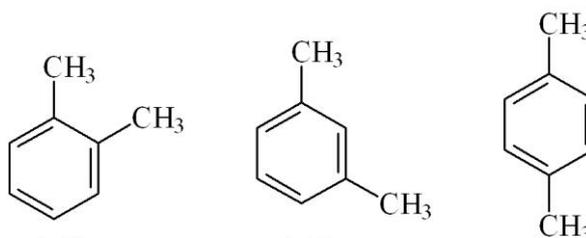


Figura 4: Representación esquemática de Xilenos.

En la Tabla 6 se presentan sus propiedades principales.

PROPIEDADES XILENOs	
Fórmula molecular	C_8H_{10}
<i>Propiedades físicas</i>	
Apariencia	Incoloro
Densidad	0,865 g/cm ³
Masa molar	106,16 g/mol
Punto de fusión.	-25°C (o-Xileno), -48°C (m-Xileno) -13,2°C (p-Xileno)
Punto de ebullición	144°C (o-Xileno), 139°C (m-Xileno) y 138°C (p-Xileno)
Presión de vapor	9 hPa (o-Xileno) 11 hPa (m-Xileno) 12 hPa (p-Xileno)
<i>Propiedades químicas</i>	
Solubilidad en agua	Insoluble en agua,

	soluble en alcohol, éter y otros compuestos orgánicos.
Peligrosidad	
Punto de inflamabilidad	300 K (27 °C)
Temperatura de autoignición	736,9 K (464 °C)
Límites de explosividad	1% - 3,5%
Condiciones estándar (25 °C y 1013,25 hPa).	

Tabla 6: Propiedades fisicoquímicas de los Xilenos.

El Xileno (Martínez-Toledo y Cuevas-Díaz, 2012) se genera naturalmente en el petróleo y el alquitrán y se produce en cantidades pequeñas durante incendios forestales.

El Xileno puede movilizarse a través del suelo y entrar al agua subterránea y puede permanecer allí durante meses antes de ser finalmente degradado por microorganismos.

1.3.- INVENTARIO DE EMISIONES.

En muchos lugares, se han desarrollado estudios para determinar las tasas de emisión promedio de los diferentes procesos que liberan contaminantes a la atmósfera (AEMA, 2009). Los factores de emisión expresan unidades de masa de contaminante emitida por unidad de proceso y se calculan con las determinaciones de los muestreos de fuentes de emisión representativas. Esto es así porque no es factible hacer un muestreo de cada fuente de emisión existente.

El inventario de emisiones es el conjunto de datos que caracterizan a las fuentes generadoras de contaminantes y que permitirán conocer cuáles son los tipos de contaminantes que son emitidos así como su cantidad (INECC - SEMARNAT, 2005).

El inventario de emisiones tiene como principal objetivo evaluar la distribución geográfica y temporal de emisiones de contaminantes y su impacto en la calidad del aire, para determinar programas que nos permitan prevenir y controlar emisiones de contaminantes dañinos a la salud.

1.3.1.- Clasificación de las fuentes de contaminación del aire.

En general, fuente, es todo aquel fenómeno que causa contaminación. Al contaminante, o a la mezcla de contaminantes, que salen de una fuente determinada se le llama emisión (INECC - SEMARNAT, 2006).

Los principales contaminantes a evaluar son los gases de combustión e hidrocarburos.

Dentro de los gases de combustión tenemos a los óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PST, PM₁₀ y PM_{2.5}), monóxido de carbono (CO) y COV's.

Con el propósito de estudiar las fuentes presentes en un área de estudio, estas han sido agrupadas de la manera siguiente:

- Fuentes puntuales: sector industrial
- Fuentes móviles: sector transporte
- Fuentes de área: sector domestico, comercial y de servicio
- Fuentes naturales: suelos y vegetación.

1.3.1.a.- Fuentes puntuales.

Se llama fuente puntual a toda instalación que tenga como finalidad desarrollar operaciones, procesos industriales o actividades que puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera y que estén por encima de un cierto nivel de emisiones. Este nivel se fija de manera convencional por los encargados del área inventario de cada país, región o ciudad (INEGI, 2002).

1.3.1.b.- Fuentes móviles.

Las fuentes móviles están constituidas por los vehículos automotores, automóviles, camiones y autobuses, diseñados para circular en la vía pública (Singh y Gokhale , 2015). En la mayoría de las áreas urbanas, los vehículos automotores son los principales generadores de las emisiones de COV's, CO, NO_x, SO_x, PM, PM₁₀ y PM_{2.5}. Debido a la magnitud de sus emisiones y a las consideraciones especiales requeridas para estimar su volumen, los vehículos automotores se manejan separadamente de otras fuentes de área.

Las emisiones de vehículos automotores están integradas por diversos contaminantes que son generados por diferentes procesos (Tabla 7). Los más comúnmente considerados son las emisiones del escape y una variedad de procesos evaporativos que incluyen:

Emisiones húmedas calientes: Se presentan debido a la volatilización del combustible en el sistema de dosificación de éste, una vez que se apaga el motor. El combustible del sistema de dosificación se volatiliza por el calor residual del motor.

Emisiones evaporativas en circulación: Dadas por fugas de combustible en fase líquida o de vapor que se presentan cuando el motor está en operación.

Emisiones diurnas: Emisiones del tanque de combustible del vehículo debido a altas temperaturas en el líquido y al aumento de la presión de vapor del combustible, las cuales resultan del incremento en las temperaturas ambientales, la aportación de calor del sistema de escape del vehículo o del calor reflejado por el asfalto o superficie de circulación.

Emisiones evaporativas en reposo: Son emisiones evaporativas distintas de las emisiones húmedas calientes, diurnas y de recarga de combustible, que ocurren debido a la permeabilidad o fugas de los conductos de combustible.

Emisiones evaporativas de la recarga de combustible: Emisiones desplazadas del tanque de combustible durante la recarga del mismo. Si bien el vehículo es la fuente de las emisiones, éstas se presentan mientras el vehículo está en reposo en las estaciones de servicio.

Tipo de vehículo utilizado en DGCA (Verificación)	Tipo de vehículo utilizado en el modelo MOBILE5
Autos particulares	Ligth Duty Gasoline Vehicles (LDGV) Vehículos a gasolina de servicio ligero
Taxis	Ligth Duty Gasoline Vehicles (LDGV) Vehículos a gasolina de servicio ligero
Combis y microbuses	Ligth Duty Gasoline Trucks 2 (LDGT2) Camionetas a gasolina de reparto pesado
Pick-up	Ligth Duty Gasoline Trucks 1 (LDGT1) Camionetas a gasolina de reparto ligero
Camión de Carga	Ligth Duty Gasoline Truck 2 (LDGT2) Camiones a gasolina de carga pesada
Autobuses, (incluye R- 100).	Heavy Duty Diesel Vehicles (HDDV) Camiones a diesel de carga pesada
Carga de más de dos ejes	Heavy Duty Diesel Vehicles (HDDV) Camiones a diesel de carga pesada

Tabla 7: Clasificación de las Fuentes móviles de acuerdo a United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA) y su traducción.

1.3.1.c.- Fuentes de área.

Son todos aquellos establecimientos o lugares en donde se desarrollan actividades que de manera individual emiten cantidades relativamente pequeñas de contaminantes. En conjunto, sus emisiones representan un aporte considerable de contaminantes a la atmósfera pero no llegan a considerarse como fuentes puntuales.

1.3.1.d.- Fuentes naturales.

Son fenómenos o procesos que se presentan de manera natural en los ecosistemas y cuyas emisiones son el resultado de la acción de eventos meteorológicos, geológicos y/o procesos metabólicos. En este tipo de fuentes se encuentran los suelos erosionados, las

emisiones volcánicas, las emisiones generadas por incendios forestales, por la cría de ganado y por procesos metabólicos de la vegetación.

1.3.2.- Metodología del inventario de emisiones.

Para realizar la delimitación del inventario de emisiones es necesario conocer las variables a utilizar y el área de estudio (SEMARNAT, 2012).

La determinación de la distribución espacial de las fuentes es importante para determinar su impacto en las zonas habitacionales y en los ecosistemas.

La identificación de las fuentes puntuales, las fuentes de área, las fuentes móviles y las fuentes naturales es sustancial dado que cada una tiene características propias y emiten contaminantes de acuerdo a los materiales que manejan y generan. Conocer la distribución espacial y temporal de estas actividades tiene la finalidad de determinar adecuadamente su impacto en la salud y los ecosistemas.

Durante el procesamiento de los datos obtenidos es necesario asegurar su calidad y considerar la congruencia de los mismos.

Para realizar los cálculos, es necesario considerar diversos métodos de estimación de emisiones las cuales pueden ir desde muestreo en fuente, el método más exacto, hasta la extrapolación.



Figura 5: Relaciones costo beneficio para las distintas metodologías de inventario.

En este trabajo utilizaremos factores de emisiones para estaciones de servicios y extrapolaciones para fuentes móviles.

1.3.2.a.- Factores de Emisión.

Son los valores que expresan la cantidad de contaminante emitido por unidad relativa a la actividad (SEMARNAT, 2001). Con los factores de emisión se pueden realizar estimaciones en un periodo corto de tiempo.

La ecuación general está representada como sigue:

$$E = A \times FE \rightarrow \text{ecuación 1}$$

Donde:

E = Tasa de emisión expresada en unidades de masa por unidad de tiempo.

A = Tasa de actividad.

FE = Factor de emisión expresado en masa de contaminante emitido por unidad de actividad.

La fuente de consulta habitual de factores de emisión, en la que los encontramos determinados para diversas actividades y procesos en los Estados Unidos, es el documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42, 1972). La referencia principal para factores de emisión específicos para contaminantes tóxicos del aire es el sistema de datos FIRE (FIRE, 1995).

Otro documento de referencia es la guía Rapid Source Inventory Technique publicado por la OMS (OMS, 1993) donde se encuentran factores de emisión para diversos conjuntos de fuentes así como en la recopilación Evaluación de fuentes de contaminación del aire (Economopoulos, 2002).

Los factores de referencia internacionales para inventarios de gases de efecto invernadero se encuentran en documentos guía del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (IPCC, 1993).

Las Estaciones de Servicios son demasiado numerosas y dispersas como para poder ser incluidas de manera eficiente, una a una, como fuentes puntuales. Es por esto que serán consideradas, a los fines del inventario de emisiones, como fuentes de área. Se opta por un tratamiento colectivo basado en censos y extrapolaciones (SEMARNAT, 2005).

1.3.2.b.- Extrapolación.

Existen métodos de estimación que utilizan datos similares a los patrones de uso de materiales y costumbres de una región, actividad industrial y de hábitos de consumo, entre otros.

Entre los objetivos de la extrapolación en fuente está la posibilidad de determinar las tasas de emisiones directamente con los valores de referencia de tipo temporal y/o geográfico, para las áreas de estudio (SMA-DF, 2012). Una de las ventajas de utilizar este método para realizar una primera estimación es que es práctico y tiene bajo costo de aplicación para la estimación de emisiones en regiones donde existe información insuficiente para el desarrollo del cálculo de emisiones.

1.4.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE COV's.

El inventario de emisiones de fuentes móviles y fijas emisoras de COV's (Sbarato y Rubio, 2017) permite determinar la importancia relativa de las fuentes consideradas. Las fuentes móviles son la fuente primordial ya que emite aproximadamente el 90% de las emisiones totales de COV's. La modelación matemática de distribución de concentraciones de COV's en el aire de la ciudad es el paso a seguir para determinar valores posibles, niveles relativos a la normativa internacional vigente y la determinación, por esta vía, de la necesidad, o no de realizar monitoreos continuos.

Los modelos de calidad de aire usan técnicas matemáticas y numéricas para simular los procesos físicos y químicos que afectan a los contaminantes cuando se dispersan y reaccionan en la atmósfera (Alcaide López, 2000). Los modelos de dispersión de contaminantes resuelven las ecuaciones de difusión en forma aproximada y obtienen resultados muy rápidamente (Sanín Cortés, 2002). El modelo de dispersión gaussiano considera que el penacho de contaminantes emitido por una chimenea sigue una distribución gaussiana perpendicular al movimiento convectivo principal. La ecuación de difusión gaussiana relaciona los niveles de inmisión en un punto con la cantidad de contaminantes vertidos a la atmósfera desde el foco emisor, teniendo en cuenta las condiciones de emisión de los gases y las características climáticas y topográficas del medio receptor. Se considera que el viento, la humedad, la temperatura y las precipitaciones tienen un papel importante en el aumento o disminución de la contaminación (Orozco Barrenetxea *et al*, 2008). El viento generalmente favorece la dispersión de los contaminantes y la humedad juega un papel negativo en la dispersión de los mismos al aumentar la concentración de humos y polvo (Bustos Salas, 2004). La estabilidad de la atmósfera depende de la diferencia de temperatura

entre una masa de aire y la que la rodea. Se presentan diferentes estabilidades (A, B, C, D, E, F) que se denominan clases de estabilidad de Pasquill (Henry y Heinke, 1999).

En cuanto a la meteorología, la Ciudad de Córdoba cuenta con datos históricos desde la década 1870 a la actualidad en el sector de mayor emisión de contaminantes.

Aún así, y a los fines de este trabajo, se montan tres estaciones meteorológicas autónomas, en el norte, centro y sur de la ciudad a los fines de obtener datos instantáneos y compararlos con los datos estadísticos por década del SMN.

El modelo matemático gaussiano SCREEN3 (SCREEN U.S.EPA, 2000), es un software de U.S. EPA de uso libre que permite modelar fuentes puntuales y de área y calcular la concentración de contaminantes respirables (inmisión), contando con datos meteorológicos y estimación de emisiones.

El algoritmo de fuente de área en SCREEN3 se basa en un enfoque de integración numérica, y permite que las fuentes de área se aproximen a un área rectangular, en nuestro caso no es necesaria la aproximación ya que nuestra unidad muestral es un cuadro de 2x2 km (Sbarato *et al*, 2001).

Los datos de entrada son solicitados para fuentes de área de la siguiente manera:

- Tasa de emisión [$g/(s \times m^2)$].
- Altura de la fuente de liberación [m].
- Longitud del lado más largo del área rectangular [m].
- Longitud del lado más corto del área rectangular [m].
- Altura del receptor sobre el suelo [m].
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural).
- Opción de búsqueda de dirección del viento (si no, especificar ángulo deseado).

1.5.- SISTEMA DE MONITOREO DE COV's.

1.5.1.- Análisis comparativo de métodos de muestreo y análisis para BTEX en aire.

Tanto la U.S.EPA, como el Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y Salud (NIOSH), han informado métodos de muestreo de aire para COV's.

El muestreo puede efectuarse por adsorción en un absorbente sólido, muestreo en contenedores o mediciones directas.

La U.S.EPA ha desarrollado la Serie de Métodos de Análisis de Compuestos Orgánicos conocida como los Métodos TO, considerablemente aplicados por los expertos en temas ambientales. Entre estos métodos destacan los métodos (Hess-Kosa, 2001), que se resumen en la Tabla 8.

Nombre del Método	Tipos de compuestos a determinar	Muestreo y análisis	Límite de detección
TO1 (U.S.EPA, 2016 a)	COV's (80°C a 200°C)	ADSORCIÓN EN RESINA TENAX (Scientific Instrument Services, INC, 2017) - ANÁLISIS CON GC Y GC/MS o GC/FID. El aire ambiente pasa a través de un sorbente de polímero orgánico donde ciertos compuestos quedan atrapados. El cartucho se transfiere a la laboratorio, se procede a la desorción térmica y posteriormente se analizado usando GC/MS o GC/FID.	0,01 - 100 ppb
TO2 (U.S.EPA, 2016 b)	COV's altamente volátiles (-15°C a 120°C)	ADSORCIÓN EN SUSTRATO DE CARBONO MOLECULAR - ANÁLISIS CON GC/MS o GC/FID. Ciertos COV's son capturados en tamiz adsorbente de carbono molecular. Los compuestos son desorbidos térmicamente y analizados por GC/MS o Técnicas GC/FID.	0,1 - 200 ppb
TO3 (U.S.EPA, 2016 c)	COV's no polares (-10°C a 200°C)	PRECONCENTRACIÓN CRIOGÉNICA - ANÁLISIS GC/FID/ECD. Las fases orgánicas de vapor son condensadas en una trampa criogénica. El transportador del gas realiza su transferencia de gas condensado a una columna de GC. Los compuestos se eluyen de la columna GC y medido por FID o ECD.	0,1 - 200 ppb
TO12 (U.S.EPA, 2016 d)	NMOC (compuestos orgánicos no metánicos)	TOMA DE MUESTRAS EN CANISTER - PRECONCENTRACIÓN CRIOGÉNICA Y DETECCIÓN FID. El aire ambiente pasa por en una trampa criogénica donde los NMOC son concentrado. La trampa es calentado para mover los NMOC al FID.	0,1 - 200 ppm
TO14A (U.S.EPA, 2016 e)	COV's no polares	TOMA DE MUESTRA EN CANISTER ESPECIALMENTE PREPARADO Y DETECCIÓN GC/FID/ECD O GC/MS. Se recoge una muestra de aire en un canister evacuado. Los COV's se concentran en el laboratorio utilizando una trampa criogénica.	0,2 - 25 ppb
TO14A app B (U.S.EPA, 2016 f)	COV's totales	Procedimiento de Operación para un Cromatógrafo de Gas Portátil Equipado con un Detector de Fotoionización.	1 - 100.000 ppv
TO15 (U.S.EPA, 2016 g)	COV's no polares/polares	TOMA DE MUESTRA EN CANISTER ESPECIALMENTE PREPARADO Y DETECCIÓN GC/MS. Una muestra de aire entero es recogida en un canister previamente evacuado VOC's son concentrados en una matriz sólida y reenfocado en una segunda trampa, separada en una Columna GC, y pasó a un detector de MS para identificación y cuantificación.	0,2 - 25 ppb
TO16 (U.S.EPA, 2016 h)	COV's (polares y no polares)	FTIR OPEN PATH SPECTROSCOPY. Los COV's se monitorean usando detectores de larga distancia en tiempo real y a camino abierto.	25 - 500 ppb
TO17	COV's (polares y no	TUBO ADSORBENTE MULTI-BED Y	0,2 - 25 ppb

(U.S.EPA, 2016 i)	polares)	DETECCIÓN GC/MS El aire ambiente pasa a través un tubo adsorbente multi-bed donde los COV's quedan atrapados. El cartucho se lleva al laboratorio donde es térmicamente desorbido y analizado por GC/MS u otros métodos.	
-------------------	----------	---	--

Tabla 8. Características de los métodos TO (U.S.EPA, 2016 j).

1.5.1.a.- Métodos Analíticos.

Cromatografía de gases.

Dependiendo el tipo de detector o equipo acoplado tenemos varias opciones:

- TD/GC/MS Desorción térmica/Cromatografía de gases/Espectrometría de Masas.
- GC/MS Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas.
- GC/FID Cromatografía de Gases/Detector de Ionización de Flama.
- GC/ECD Cromatografía de Gases/Detector de Captura de Electrones.
- GC/NSD Cromatografía de Gases/Detector Selectivo de Nitrógeno.
- GC/PID Cromatografía de Gases/Detector de Fotoionización.

Espectrometría Infrarroja.

- FTIR Espectrometría Infra roja de Transformada de Fourier.

Existen además instrumentos analíticos con capacidades data logging para la lectura directa de contaminantes, por ejemplo el PID portátil que se utiliza en este trabajo.

1.5.2.- Redes neuronales como instrumento complementario de cálculo de datos perdidos.

El propósito de parte del estudio es la evaluación de modelos de predicción de COV's mediante una técnica estadística tradicional de modelización no paramétrica. Estos valores pueden cubrir los baches de mediciones inválidas o no realizadas.

Las técnicas de Inteligencia Artificial, y más precisamente el uso de redes neuronales, Perceptrón Multi Capa (MLP), es una herramienta que está siendo aplicada en la comunidad científica con resultados eficientes en el modelado de distintos fenómenos (Gardner y Dorling, 1998).

Basados en la eficiencia de los procesos llevados a cabo por el cerebro, e inspirados en su funcionamiento, varios investigadores han desarrollado, desde hace más de 30 años, la teoría de las Redes Neuronales Artificiales (RNA). Estas emulan el comportamiento de las

redes neuronales biológicas, y se han utilizado para aprender estrategias de solución basadas en ejemplos de comportamiento típico de patrones. Estos sistemas no requieren que la tarea a ejecutar se programe, ellos generalizan y aprenden de la experiencia.

La teoría de las RNA ha brindado una alternativa a la computación clásica para aquellos problemas en los cuales los métodos tradicionales no han entregado resultados muy convincentes, o poco convenientes.

El primer algoritmo de entrenamiento para redes multicapa fue desarrollado en 1974 (Werbos, 1990), éste se formuló en un contexto general, para cualquier tipo de redes, siendo las redes neuronales una aplicación especial. Esto implicó que dicho algoritmo no fuera aceptado dentro de la comunidad de desarrolladores de redes neuronales.

Fue sólo hasta mediados de los años 80 cuando el algoritmo Backpropagation, o algoritmo de propagación inversa, fue redescubierto, al mismo tiempo, por varios investigadores. David Rumelhart, Geoffrey Hinton y Ronal Williams, David Parker y Yann Le Cun.

El algoritmo se popularizó al ser incluido en el libro “Parallel Distributed Processing Group” por los psicólogos David Rumelhart y James McClelland. Publicación que trajo consigo un auge en las investigaciones con redes neuronales, siendo la Backpropagation una de las redes más ampliamente empleadas, aun en nuestros días.

La mayoría de los sistemas actuales de cómputo se han diseñado para llevar a cabo funciones matemáticas y lógicas a una velocidad que resulta asombrosamente alta para el ser humano. Sin embargo la destreza matemática no es lo que se necesita para solucionar problemas de reconocimiento de patrones en entornos ruidosos característica que, incluso dentro de un espacio de entrada relativamente pequeño, puede llegar a consumir mucho tiempo. El problema es la naturaleza secuencial del propio computador; el ciclo tomar – ejecutar de la naturaleza Von Neumann sólo permite que la máquina realice una operación a la vez. En la mayoría de los casos, el tiempo que necesita la máquina para llevar a cabo cada instrucción es tan breve (típicamente una millonésima de segundo) que el tiempo necesario para un programa, así sea muy grande, es insignificante para los usuarios. Sin embargo, para aquellas aplicaciones que deban explorar un gran espacio de entrada o que intentan correlacionar todas las permutaciones posibles de un conjunto de patrones muy complejo, el tiempo de computación necesario se hace bastante grande.

Lo que se necesita es un nuevo sistema de procesamiento que sea capaz de examinar todos los patrones en paralelo. Idealmente ese sistema no tendría que ser programado

explícitamente, lo que haría es adaptarse a sí mismo para aprender la relación entre un conjunto de patrones dado como ejemplo y ser capaz de aplicar la misma relación a nuevos patrones de entrada. Este sistema debe estar en capacidad de concentrarse en las características de una entrada arbitraria que se asemeje a otros patrones vistos previamente, sin que ninguna señal de ruido lo afecte. Ese fue el gran aporte de la red de propagación inversa, Backpropagation.

La Backpropagation es un tipo de red de aprendizaje supervisado, que emplea un ciclo propagación – adaptación de dos fases. Una vez que se ha aplicado un patrón a la entrada de la red como estímulo, éste se propaga desde la primera capa a través de las capas superiores de la red, hasta generar una salida. La señal de salida se compara con la salida deseada y se calcula una señal de error para cada una de las salidas.

Las salidas de error se propagan hacia atrás, partiendo de la capa de salida, hacia todas las neuronas de la capa oculta que contribuyen directamente a la salida. Sin embargo las neuronas de la capa oculta sólo reciben una fracción de la señal total del error, basándose aproximadamente en la contribución relativa que haya aportado cada neurona a la salida original. Este proceso se repite, capa por capa, hasta que todas las neuronas de la red hayan recibido una señal de error que describa su contribución relativa al error total. Basándose en la señal de error percibida, se actualizan los pesos de conexión de cada neurona, para hacer que la red converja hacia un estado que permita clasificar correctamente todos los patrones de entrenamiento.

A medida que se adiestra la red, los algoritmos de las capas medias se constituyen a sí mismas de tal manera que diversas neuronas aprenden a reconocer múltiples características del espacio total de ingreso. Luego del adiestramiento, cuando se les imponga un patrón impropio de entrada que posea ruido o que esté incompleto, las neuronas de la capa oculta indicarán una salida activa si la nueva entrada contiene un esquema que se asemeje a aquella característica que los algoritmos individuales hayan asimilado durante su entrenamiento. Y a la inversa, las unidades de las capas ocultas tienen una tendencia a inhibir su salida si el patrón de entrada no contiene la característica para reconocer, para la cual han sido entrenadas.

Varias investigaciones han demostrado que, durante el proceso de entrenamiento, la red Backpropagation tiende a desarrollar relaciones internas entre neuronas con el fin de organizar los datos de entrenamiento en clases. Esta tendencia se puede extrapolar, para llegar a la hipótesis consistente en que todas las unidades de la capa oculta de una

Backpropagation son asociadas de alguna manera a características específicas del patrón de entrada como consecuencia del entrenamiento (Backpropagation, 2000).

Lo que sea, o no, exactamente la asociación puede no resultar evidente para el observador humano, lo importante es que la red ha encontrado una representación interna que le permite generar las salidas deseadas cuando se le dan las entradas, en el proceso de entrenamiento. Esta misma representación interna se puede aplicar a entradas que la red no haya visto antes, y clasificará estas entradas según las características que compartan con los ejemplos de entrenamiento (Gardner y Dorling, 1999), (Abdul-Wahab y Al-Alawi, 2002), (Kukkonen *et al*, 2003), (Grivas y Chaloulakou, 2006).

1.6.- ESTIMACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD.

Hay varios factores que determinarán si la exposición al contaminante producirá efectos adversos, así como el tipo y severidad de las posibles consecuencias. Estos factores incluyen concentración y tiempo de exposición.

La sola evaluación de la exposición a contaminantes del aire es una medida efectiva y eficiente para orientar los diferentes programas o actividades para proteger a la población de sus potenciales efectos en la salud (Buckley, *et al*, 2005).

Estudios reportados (ATSDR, 2011) por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) del Gobierno de los Estados Unidos dan cuenta de que en varios países se han encontrado evidencias sobre la asociación entre la contaminación atmosférica por COV's, en particular Benceno (ATSDR, 2007 a), Tolueno (ATSDR, 2000) y Xileno (ATSDR, 2007 b), y el incremento de la mortalidad y morbilidad debido a la exposición humana a dichas sustancias. Diversos estudios epidemiológicos (Adgate, *et al*, 2004), (Delfino, *et al*, 2003), (Directiva Europea de Calidad del Aire, 2000), (Duarte-Davidson *et al*, 2001), (Glass *et al*, 2003), (Rumchev *et al*, 2004), (OMS, 2006), (IARC, 1987), demuestran que la exposición a estos contaminantes y su posible sinergia, incluso con niveles situados por debajo del nivel guía, se asocian con un incremento del deterioro de las funciones neurológicas, así como con el cáncer y diversidad de enfermedades cutáneas, respiratorias y gástricas. La relación entre la exposición a Benceno (ICSC 0015, 2003), Tolueno (ICSC 0078, 2002 a), Etilbenceno (ICSC 0268, 2007), y o – m – p Xilenos (ICSC 0084, 2002 b), (ICSC 0085, 2002 c), (ICSC 0086, 2002 d) y los efectos adversos en la salud se ha documentado en muchos estudios, a tal punto que están presentes en las ICSC (International Chemical Safety Cards), que contienen la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS (International Programme

on Chemical Safety) de la WHO/OMS (World Health Organization/Organización Mundial de la Salud), la ILO/OIT (International Labour Organization/Organización Internacional del Trabajo) y la UNEP/PNUMA (United Nations Environmental Programme/Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente), aunque son escasos los que han investigado el impacto de COV's en general y los emitidos durante el proceso de recarga de combustibles fósiles en puntos de expendio y su combustión posterior (Evequoz *et al*, 2000), (Batterman *et al*, 2007.), (Field *et al*, 2005), (Loh *et al*, 2006), (Serrano-Trespacios, *et al*, 2004), (Wallace, 1989 a), (Wallace, 1989 b), (Wan-Kuen *et al*, 2004).

La OMS establece los valores guía de BTEX de la siguiente manera: para el Benceno, por ser cancerígeno de Grupo 1 (IARC, 2017), no se recomienda un nivel seguro de exposición aunque si establece el nivel de riesgo adicional de contraer cáncer, estimado a partir de una exposición de por vida a una concentración de $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ del compuesto. Para el Tolueno el promedio semanal es de 69 ppm y para los Xilenos el promedio anual es de 200 ppm (Lauwerys, 1994).

Los BTEX tienen habilidad para entrar a través la barrera hematoencefálica y producir daño cerebral por su labor neurotóxica (Spiker y Morris, 2001); las mujeres embarazadas, los menores de 18 años, los mayores de 65 años, los mal nutridos y los que padecen enfermedades crónicas son más susceptibles (Norma Oficial Mexicana, 1993).

1.6.1.- Toxicología de BTEX.

1.6.1.a.- Exposición al Benceno.

Los habitantes de ciudades, o pueblos, estamos expuestos diariamente al Benceno. Las principales fuentes de exposición son el humo de tabaco, las estaciones de servicio, los gases del escape de automóviles y las emisiones industriales.

Las personas que viven en zonas urbanas o en áreas industriales generalmente están expuestas a niveles de Benceno más altos que las que viven en áreas rurales. Los niveles de Benceno en el hogar generalmente son más altos que al aire libre. La gente que vive cerca de calles de gran flujo de tránsito, estaciones de servicio, entre otras fuentes posibles, puede estar expuesta a niveles de Benceno más altos.

El Benceno puede ingresar al organismo a través de los pulmones, el tubo digestivo y la piel. Aproximadamente la mitad del Benceno que la persona inhala pasa al torrente sanguíneo a través de los pulmones. La mayor parte del Benceno que ingiere en alimentos y bebidas pasa a la sangre a través del tubo digestivo. Si es la piel la que se encuentra

expuesta, solo una pequeña cantidad de Benceno pasará a la sangre. Una vez en la sangre, el Benceno se moviliza en el organismo y puede ser almacenado transitoriamente en la médula ósea y el tejido graso.

El Benceno es convertido a metabolitos en el hígado y la médula ósea. La mayoría de los metabolitos del Benceno se excretan en la orina dentro de 48 horas después de la exposición.

La exposición breve (5 a 10 minutos) a niveles muy altos de Benceno en el aire (10.000 a 20.000 ppm) puede producir la muerte. Niveles más bajos (700 a 3.000 ppm) pueden producir letargo, mareo, aceleración de los latidos cardíacos del corazón, dolor de cabeza, temblores, confusión y pérdida del conocimiento. En la mayoría de los casos, los efectos desaparecerán cuando la exposición termine y la persona empiece a respirar aire fresco.

Las personas que respiran Benceno durante períodos prolongados pueden sufrir daño de los tejidos hematopoyéticos, especialmente la médula ósea. Estos efectos pueden interrumpir la producción de elementos de la sangre. Una disminución de los glóbulos rojos puede conducir a anemia y la reducción de otros componentes de la sangre puede causar hemorragias. Estas alteraciones pueden revertirse después que la exposición al Benceno termina. La exposición excesiva al Benceno puede ser perjudicial para el sistema inmunitario, aumentando las probabilidades de contraer infecciones y posiblemente disminuyendo las defensas del cuerpo contra el cáncer (ATSDR, 2016).

Esta exposición se ha asociado con el desarrollo de un tipo especial de leucemia llamada leucemia mieloide aguda. El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), el IARC y la U.S.EPA han determinado que el Benceno es carcinogénico en seres humanos.

Los niños (desde la concepción a la madurez) pueden ser afectados por la exposición al Benceno de la misma manera que los adultos ya que el Benceno puede pasar de la madre al feto.

1.6.1.b.- Exposición al Tolueno.

Las personas que trabajan con nafta, pintura, laca, o tinturas se exponen a niveles más altos de Tolueno, como también lo hacen las personas que fuman o que intencionalmente inhalan productos que contienen Tolueno por sus efectos eufóricos.

Cuando se inhala Tolueno, éste pasa directamente a la sangre a través de los pulmones. Igualmente, cuando se tocan productos que contienen Tolueno, por ejemplo,

líquido para remover el esmalte de uñas, o se baña en agua que contiene Tolueno ya que el Tolueno puede pasar a la sangre a través de la piel. Cuando se ingiere alimentos o se bebe líquidos que contienen Tolueno, también pasa desde el tubo digestivo a la sangre. Factores como edad, sexo, composición corporal y estado de salud afectan la distribución del Tolueno.

Una vez en el organismo, la mayoría es removido en 24 horas. Sin embargo, una pequeña porción puede acumularse en el tejido graso con exposición repetida. Puede ser excretado sin cambios en el aire que se exhala o en la orina después que una porción ha sido transformada en otras sustancias químicas.

La posibilidad que afecte el sistema nervioso central es motivo de seria preocupación. Los efectos sobre el sistema nervioso pueden ser pasajeros, por ejemplo, cefalea, mareos o pérdida del conocimiento. Sin embargo, efectos tales como incoordinación, alteraciones mentales y pérdida de la visión y la audición pueden transformarse en permanentes por exposición repetida, especialmente en concentraciones asociadas con inhalación intencional de solventes. La exposición a niveles altos de Tolueno durante el embarazo, como los asociados con inhalación intencional de solventes, puede producir alteraciones en el crecimiento y desarrollo del feto. Otros efectos incluyen alteraciones renales, hepáticas y del sistema reproductor. También puede producir la muerte al interferir con la respiración y el ritmo cardíaco.

La exposición diaria en el trabajo a cantidades bajas o moderadas puede producir cansancio, confusión, debilidad, sensación de embriaguez, pérdida de la memoria, náusea y pérdida del apetito. Estos síntomas generalmente desaparecen cuando la exposición cesa. Si existe exposición laboral prolongada al Tolueno, se puede experimentar cierto grado de sordera y pérdida de la visión en color.

El IARC determinó que el Tolueno no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.

Los niños pueden respirar aire contaminado con Tolueno a través del uso doméstico de pegamentos, pinturas o solventes para limpiar, o por accidentes que ocurren con productos que contienen Tolueno. Los vapores de Tolueno son más densos que el aire y, debido a que los niños están más cerca del suelo por su menor estatura, pueden inhalar más Tolueno que los adultos durante exposiciones accidentales.

Las mujeres que lactan y que inhalan Tolueno en el trabajo pueden transferir cierta cantidad de Tolueno en la leche materna a sus niños.

1.6.1.c.- Exposición al Etilbenceno.

El Etilbenceno se emite al quemar petróleo, sus derivados y carbón, al igual que desde industrias que lo usan en sus procesos, por lo tanto estará afectada la población cercana a fábricas o calles con mucho tráfico.

Es posible encontrarlo en manantiales cercanos a vertederos, sitios de desechos, o de tanques de almacenamiento subterráneos que tienen fugas.

El Etilbenceno puede contaminar el suelo a raíz de derrames de nafta o de otros combustibles y de la disposición impropia de desperdicios industriales o domésticos.

El Etilbenceno ingresa al organismo por pulmones, tracto digestivo y piel. Una vez en el organismo, es degradado a otras sustancias químicas que, en su gran mayoría, se excretan en la orina en 1 ó 2 días.

La exposición breve a niveles altos en el aire puede producir irritación de los ojos y la garganta. La exposición a niveles más altos puede producir vértigo y mareos.

La IARC ha determinado que la exposición prolongada al Etilbenceno puede producir cáncer en seres humanos.

1.6.1.d.- Exposición al Xileno.

El Xileno es liberado principalmente desde fuentes industriales, en el escape de automóviles y durante su uso como disolvente. Las plantas de tratamientos de desechos peligrosos y los derrames de Xilenos también son posibles fuentes de exposición.

Respirar vapores de Xileno es la manera más probable a través de la cual ingresa este contaminante al organismo. Otras vías de ingreso son la ingestión de alimentos o agua contaminados, también puede ingresar a través de la piel si hay contacto directo, pero esto es poco probable. El Xileno es absorbido rápidamente por los pulmones, la cantidad que es retenida oscila entre 50% y 75% de la cantidad que se inhala. La absorción de Xileno en los intestinos es rápida y completa.

En seres humanos y animales de laboratorio el Xileno es degradado, especialmente en el hígado, a una forma diferente, más soluble, que se elimina rápidamente en la orina. Una pequeña parte se elimina por el pulmón en el aliento en forma de Xileno inalterado segundos después de ser absorbido. La mayor parte del Xileno que entra al cuerpo se excreta dentro de las 18 horas posteriores a la exposición. Aproximadamente 4 a 10% del Xileno que es absorbido puede ser almacenado en el tejido graso.

No se han descrito efectos nocivos causados por los niveles de Xileno que ocurren normalmente en el ambiente. La exposición breve a niveles altos puede producir irritación de la piel, los ojos, la nariz y la garganta; dificultad para respirar; alteración de la función pulmonar; retardo de la reacción a estímulos visuales; alteraciones de la memoria; malestar estomacal; y posiblemente alteraciones del hígado y los riñones. Tanto las exposiciones breves como prolongadas a altas concentraciones pueden producir numerosos efectos sobre el sistema nervioso, como por ejemplo dolor de cabeza, falta de coordinación muscular, mareos, confusión y pérdida del sentido del equilibrio. Algunas personas expuestas brevemente a cantidades de Xileno muy altas fallecieron.

El IARC y la U.S.EPA lo consideran no clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.

1.7.- PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER.

En 2009, existían 300.000 automóviles y 125.000 motocicletas. La población de la ciudad de Córdoba que podían obtener su carnet de conducir era de 820.000. 52 de cada 100 habitantes habilitados tenían vehículos.

En 2015, existían 550.000 automóviles y 250.000 motocicletas. La población de la ciudad de Córdoba que podían obtener su carnet de conducir era de 850.000. 94 de cada 100 habitantes posibles tenían vehículos.

En solo 6 años el crecimiento de la flota vehicular fue del 188%, mientras que la población creció menos que un 4%. de seguir en esta relación de crecimiento en 2021 habrá 1.500.000 vehículos y 880.000 habitantes en condiciones de obtener su carnet de conducir. 170 vehículos cada 100 personas.

El crecimiento de la flota vehicular está descontrolado. Debemos determinar las emisiones de COV's producidas por la flota para dimensionar el problema ambiental que pone en riesgo a la población de la ciudad de Córdoba.

1.8.- OBJETIVOS.

- 1- Determinar por modelado de las concentraciones de COV's en aire por parte de las estaciones de expendio de combustible y de la flota vehicular circulante en la Ciudad de Córdoba.
- 2- Monitorear las concentraciones de BTEX en distintos puntos de la Ciudad de Córdoba.

3- Evaluar los peligros, estimar la dosis y modelar la probabilidad de afecciones a la salud de la población trabajadora, habitante y transeúnte de la Ciudad de Córdoba por exposición a BTEX emitidos por estaciones de expendio y por automotores.

1.9.- HIPOTESIS.

Los vecinos de la Ciudad de Córdoba están sometidos a un riesgo por encima del establecido como normal por la normativa internacional existente.

Esto esta relacionado con el crecimiento sostenido del parque automotor, la inexistencia de programas de inventario de emisiones, de monitoreo de contaminantes, de control de BTEX y de normas que fijen la obligatoriedad de uso y control de convertidores catalíticos, así como de normas locales de calidad de aire,

DISEÑO DEL ESTUDIO O MÉTODOS

2.1.- ESTIMACIÓN DE COV's EMITIDOS POR FUENTES FIJAS Y MÓVILES.

Para realizar esta parte del trabajo, y luego de analizar las posibles fuentes emisoras, se recurrió a plasmar un Inventario de Emisiones de COV's a la atmósfera para estaciones de servicios y fuentes móviles ya que estas son las fuentes emisoras principales y es imprescindible determinar y valorar el aporte temporal y espacial de cada una de ellas (NAPS, 2004).

2.1.1.- Distribución de zonas Ambientales.

A los fines de procesar y organizar la información ambiental se sectorizó el ejido urbano en un conjunto de "Barrios Ambientales" (Sbarato *et al*, 2001), (Sbarato *et al*, 2009), al que llamaremos grilla ambiental. Esta grilla está compuesta por cuadrículas, de 2x2 km, que son las unidades muestrales mínimas. La cuadrícula central (H6) tendrá el vértice superior derecho sobre el punto 31°24'29.29" latitud sur y 64°10'34.35" longitud oeste y se ubicará de tal manera que su orientación sea norte sur. En ésta cuadrícula queda comprendido el sector de mayor densidad de tránsito vehicular y población transeúnte.

Desde este punto, en la cuadrícula H6, se fueron superponiendo el resto de las cuadrículas tal como se muestra en la Figura 6.

En la Figura 7, mostramos un acercamiento de la cuadrícula H6 y su vértice superior derecho sobre el punto precitado, al que llamaremos Puente Alvear.

En la Figura 8 se representa el punto sobre el que asienta la cuadrícula H6, sin solapar la grilla. Se observa el puente Alvear, sobre la calle homónima, de la Ciudad de Córdoba y el punto de referencia ubicado sobre el mismo.

2.1.2.- Inventario de emisiones de COV's por estaciones de servicio.

Para realizar esta parte del trabajo se siguieron una serie de pasos:

1. Georeferenciación de las estaciones de servicio de la Ciudad de Córdoba.
2. Estudio del volumen de combustibles por tipo y marca.
3. Criterios de referencia para caracterizar estaciones.
4. Factores de emisión.

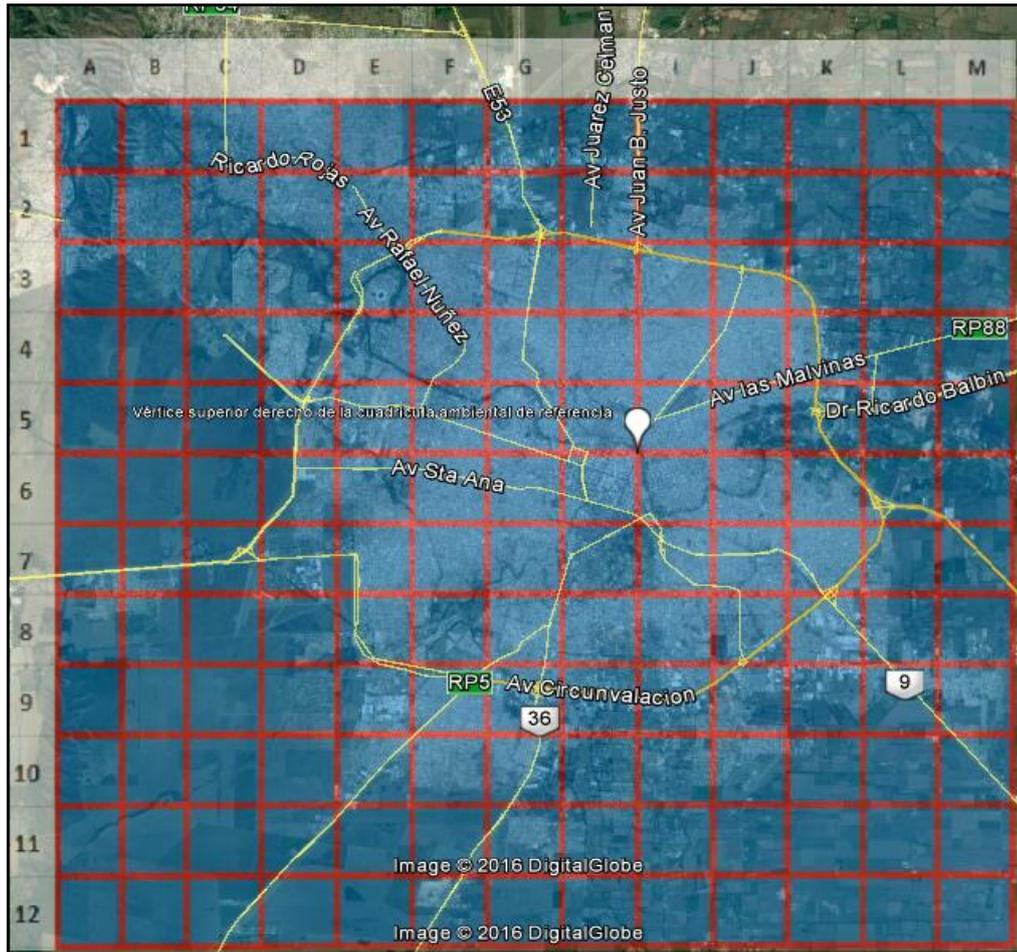


Figura 6: Grilla Ambiental de la Ciudad de Córdoba.

2.1.2.a.- Georeferenciación de las estaciones de servicio de la Ciudad de Córdoba.



Figura 7: Cuadrícula H6 correspondiente al área central de la Ciudad de Córdoba.

La Secretaría de Energía de la Nación en su sitio Web (Ministerio de Energía, 2017 b) nos presenta una base de datos histórica de la actividad en todo el país. Entre los datos se encuentra la dirección, la marca y el volumen de cada tipo de combustible vendido por año. Contando con dicha información, procedimos a ubicar en Google Earth, la grilla ambiental y las 116 estaciones de servicios de la Ciudad de Córdoba. Cada marca tiene un indicador de color diferente y en la descripción del sitio se detalla el volumen de ventas total de naftas.

2.1.2.b.- Estudio del volumen de combustibles por tipo y marca.

El volumen total de combustible expendido en la ciudad se procesa, a partir de la base de datos precitada. Se presentan los resultados por marca, por tipo de combustible y por tipo de nafta.



Figura 8: Puente Alvear, Ciudad de Córdoba.

2.1.2.c.- Criterios de referencia para caracterizar estaciones.

Debido que resultó inviable, en los términos en los que se planteó el trabajo, hacer un relevamiento detallado de:

1. Tipo de Combustible Almacenado.
2. Capacidad de Almacenamiento.
3. Frecuencia de reposición.
4. Número de Surtidores.
5. Carga media suministrada a vehículos.
6. Método de Reposición.

para cada Estación de Servicio de la Ciudad de Córdoba, optamos por consignar en Tabla 9, los datos promedios, obtenidos del Registro de Bocas de Expendio de Combustibles Líquidos, dispuesto por la Resolución SE 1102/2004 de la Secretaría de Energía de la República Argentina (Secretaría de Energía, 2004).

DATO	RESULTADO ESTANDAR
Tipo de Tanque	Subterráneo cilíndrico de doble pared
Tipo de Combustible Almacenado	Normalmente 4: Gas Oil Común o de Grado 2. Gas Oil Ultra o de Grado 3. Nafta Súper o de Grado 2. Nafta Ultra o de Grado 3. Algunas Estaciones de Servicio almacenan además Kerosene.
Capacidad de Almacenamiento	La capacidad de almacenamiento promedio alcanza los 100.000 lts de combustible distribuidos entre los distintos productos.
Frecuencia de reposición	Debido a las características actuales del mercado (demanda superior a la oferta), los ciclos de reposición son cortos, dando un promedio de 3 veces por semana. Existen Estaciones en los grandes Centros Urbanos que reciben 3 reposiciones diarias.
Número de Surtidores	Promedio de 3 surtidores para abastecer 6 dársenas de carga.
Carga media suministrada a vehículos	22 lts en Estaciones Urbanas y 48 lts en Estaciones Ruterias.
Método de Reposición	En todos los casos por camión cisterna desde las Terminales de Despacho de las Empresas Petroleras de la Bandera.

Tabla 9. Datos Estándar de estaciones de servicios

2.1.2.d.- Factores de emisión.

TANKS es un software de U.S.EPA de uso libre que estima las emisiones de COV's de tanques de almacenamiento de combustible y basa los procedimientos de cálculo en la Compilación de Factores de Emisión de Contaminantes del Aire de la misma Agencia AP-42 (TANKS, 2016). Debido a que no realizamos una inspección por cada estación, sino que se utilizó el formato estándar establecido por la Secretaría de Energía de la Nación, se optó por manejar factores de emisión del documento AP-42 de manera directa. De esta manera se pudo realizar un cálculo rápido y aproximado de todas las emisiones de compuestos orgánicos que se evaporan en los distintos procesos que se llevan a cabo en las estaciones de servicio. Por otro lado, y para confirmar coherencia, utilizamos la información publicada para la pérdida total promedio del volumen de naftas expendido en la Ciudad de Córdoba. Dicho valor es 0,22% del volumen total (Evequoz *et al*, 2000).

2.1.3.- Inventario de emisiones de COV's por fuentes móviles.

Para realizar esta parte del trabajo se utilizó, reproceso y/o determino:

1. Inventario de emisiones de fuentes móviles de la Ciudad de Córdoba 1999.
2. Flota vehicular por cantidad y tipo de vehículos y por combustible utilizado.

2.1.3.a.- Inventario de emisiones de fuentes móviles de la Ciudad de Córdoba 1999.

Para nuestro trabajo recurrimos, como punto de partida para luego extrapolar utilizando como única variable el crecimiento de flota vehicular, el Inventario de Emisiones de COV's emitidos por fuentes móviles realizado con MOBILE5 en el Observatorio Ambiental de la Ciudad de Córdoba en el año 1999 (MOBILE5, 2017).

La serie de modelos MOBILE son programas de modelación, aprobados durante muchos años por la U.S.EPA, para estimar la contaminación del aire producida por los vehículos de carretera. MOBILE 6.2, lanzado en 2004, fue la última versión de esa serie. La serie MOBILE ha sido reemplazada por el simulador de emisiones de vehículos de motor MOVES.

Se optó por la extrapolación debido a que la discontinuidad de los inventarios de emisiones que se realizaban en Córdoba hace dos décadas nos impide contar con datos actuales precisos y la utilización de MOVES exige un grupo de trabajo gubernamental dedicado al tema. Además, a los fines de este trabajo, el inventario se utilizó como herramienta para estimar las fuentes emisoras de COV's y en función de estos resultados, y los de la modelación de dispersión, se determinó la necesidad o no de monitorear la concentración respirable de COV's y que equipamiento se debe utilizar.

Para cálculos de coherencia y estimación de valores absolutos de emisiones en la ciudad por unidad de tiempo utilizamos los valores de factores de emisión de Evaluación de Fuentes de Contaminación del Aire (Economopoulos, 2002).

2.1.3.b.- Flota vehicular por cantidad y tipo de vehículos y por combustible utilizado.

Utilizamos los datos de la Dirección Nacional de Registros de la Propiedad Automotor que cuenta con datos desde 1966 a la fecha (Dirección Nacional de Registros de Propiedad Automotor, 2017), (Observatorio de Seguridad Vial, 2014), (Observatorio de Seguridad Vial, 2014 a). Existen varias entidades públicas y privadas que también brindan

esta información pero los datos tienen demasiada dispersión, por lo que recurriremos a la fuente oficial. La base de datos ofrece ciertas dificultades, hasta el año 2009 se expresa el valor de la flota nacional de vehículos automotores (no se cuentan motocicletas) registrados y de acuerdo a su estimación el circulante real es en promedio 33% menor y, por otro lado no hay discriminación por provincias y ciudades. Se informa que la Provincia de Córdoba tiene el 9% del total nacional y de ese valor el 38% corresponde a la Ciudad de Córdoba. A partir de 2010 a la fecha se informan los totales provinciales y se debe aplicar el porcentaje del 38% para la Ciudad de Córdoba. Las motocicletas, de acuerdo a la misma fuente, pasaron de 3 a 6 millones en todo el territorio nacional entre 2009 y 2014, no hay información sobre porcentajes provinciales y ni por ciudad, aún así y a modo de simple estimación, utilizamos los mismos porcentajes y tasas de crecimiento que para los automóviles.

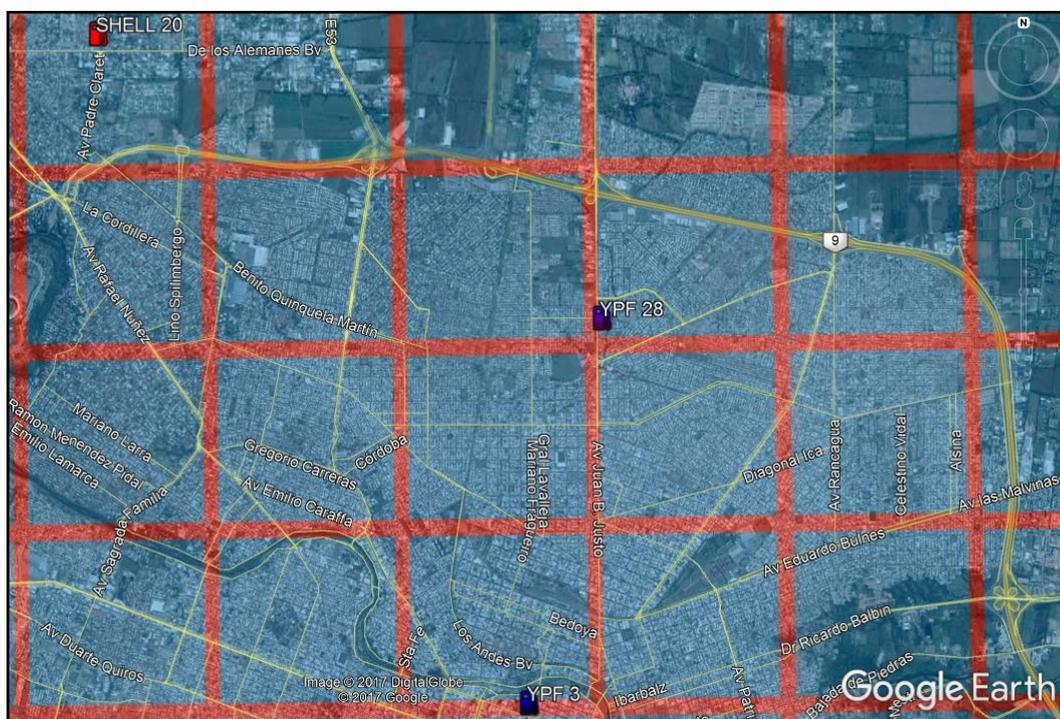


Figura 9: Ubicación de las estaciones de servicio en que se realizó el relevamiento de flota vehicular.

Para determinar la flota vehicular por tipo de vehículo, antigüedad promedio y tipo de combustible, planteamos un relevamiento de 5000 vehículos en estaciones de servicio e Inspección Técnica Vehicular (ITV). Aunque, por entrevistas informales a los trabajadores de las plantas de Inspección, optamos por descartar esta posibilidad ya que estaríamos claramente sesgados. Solo pasan por ITV aproximadamente un 30% de los vehículos circulantes y generalmente corresponden a vehículos de modelos recientes.

Optamos así por trabajar solo con información de estaciones de servicio. Por estación de servicio por día, en promedio, pasan 800 vehículos. Entonces, para llegar a la

cantidad de 5000 requerida, se contabilizaron 80 vehículos por estación por día, en tres semanas de relevamiento.

El relevamiento de datos fue muy rápido ya que solo se preguntaba el modelo del vehículo y el tipo de combustible. El tamaño de la unidad se completa a simple vista. Las estaciones de servicio en las que se hizo el relevamiento se encuentran en la Figura 9.

2.2.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE COV's.



Figura 10: Ubicación de las estaciones meteorológicas propias y del SMN. La estación meteorológica Norte ubicada en la cuadrícula H3, la Centro ubicada en la cuadrícula H6, la Sur ubicada en la cuadrícula F10 y la del Servicio Meteorológico Nacional ubicada en la cuadrícula G6.

El inventario de emisiones determinó la importancia relativa, como fuente generadora de COV's, de los vehículos automotores que circulan en la Ciudad de Córdoba sobre las estaciones de servicio (Blaser, 2000). Las emisiones de la flota vehicular son aproximadamente 9 veces superiores a las generadas por estaciones de servicio, aún así, recurrimos al modelado matemático con el software SCREEN3 (SCREEN3 EPA, 2000) para las fuentes móviles y fuentes fijas.

Corremos el programa de simulación en verano e invierno de 2015. Se elijen estas estaciones del año porque representan la mejor y la peor condición meteorológica para la dispersión de contaminantes.

2.2.1.- Datos Meteorológicos.

Contamos con las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional desde 1883 a la fecha, para el Centro de la Ciudad, tabulado como promedio de décadas para cada estación del año y para el promedio anual.

Las variables que se tabulan son:

- Presión Atmosférica [hPa].
- Temperatura Media [°C].
- Temperatura Máxima [°C].
- Temperatura Mínima [°C].
- Humedad Relativa [%].
- Lluvia [mm].
- Velocidad del Viento Media [m/s].
- Dirección de Viento Predominante.

Dispusimos, además, de tres estaciones meteorológicas automáticas Easywearher PCE-FWS 20, ubicadas en distintos puntos de la Ciudad (Figura 10).

Las estaciones meteorológicas automáticas (Figura 11), permiten detectar de forma precisa la dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, la temperatura, la humedad relativa y la pluviosidad (Consejo Superior del Investigaciones Científicas, 2012).

Las funciones, rangos de medición e incerteza de la estación Easywearher PCE-FWS 20 se encuentran en la Tabla 10.

Especificaciones técnicas de la estación meteorológica	
Rangos de medición	Temperatura ambiental: -40 ... +65 °C Humedad del aire: 1 ... 99 % Pluviometría: 0 ... 9999mm Velocidad del viento: 0 ... 50 m/s Indicación de la dirección del viento Presión atmosférica: 919 ... 1080hPa
Resolución	Temperatura del aire: 0,1°C Humedad del aire: 1 % Pluviometría: 0.1mm (volumen <1000mm) 1mm (volumen >1000mm)

	Presión atmosférica: 0,1 / 1,5 hPa
Precisión	Temperatura del aire: $\pm 1^{\circ}\text{C}$ Humedad del aire: $\pm 5\%$ entre -20% a 65% Velocidad del viento: ± 1 m/s (velocidad <10 m/s) $\pm 10\%$ (velocidad >10 m/s) Pluviometría: 0.3m (volumen <1000mm) 1mm (volumen >1000mm) Presión atmosférica: ± 3 hpa entre 700-1100hPa
Intervalo de medición de la presión atmosférica, temperatura y humedad	48 segundos
Transmisión por radio	Hasta 100m al aire libre
Puerto	USB

Tabla 10: Características de las estaciones meteorológicas.



Figura 11: Estación meteorológica.

2.3.- SISTEMA DE MONITOREO DE COV's.

Un sistema de monitoreo de aire (SMA) es el conjunto de todas las metodologías, elementos técnicos y humanos destinados a la medición de parámetros físicos, químicos y meteorológicos de manera continua, en un lugar determinado, durante un período de tiempo (Sans Fonfría y Ribas, 1999). Sus objetivos pueden ser múltiples y van desde la determinación de la calidad de aire para información al público hasta actividades exploratorias como estudios de mortalidad, morbilidad, puesta a punto de modelos de dispersión, etc.

La concepción del sistema utilizado en este trabajo comenzó con la presunción de un problema particular, el cual se puso de manifiesto por medio de un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos y su posterior modelado matemático.

2.3.1.- Propósito del SMA.

La primera etapa en la implementación de un plan de monitoreo consiste en la adecuada selección de los sitios de toma de muestra o instalación de los analizadores continuos (Álvarez-Narvaez, 2016). Para ello es necesario prestar especial atención en las siguientes actividades:

- Desarrollo de los objetivos del plan de monitoreo.
- Establecer la escala geográfica adecuada según los objetivos planteados.
- Establecer las características generales de los sitios de monitoreo.
- Establecer los sitios específicos de monitoreo.

Con el objeto de brindar un marco a partir del cual se pueda generalizar el proceso de diseño de un SMA, los propósitos de los muestreos se tipificaron en las siguientes clases:

- Monitoreo para la evaluación de desempeño.
- Monitoreo para la evaluación de tendencias.
- Monitoreo para investigaciones relacionadas a salud.

2.3.1.a.- Monitoreo para la evaluación de desempeño.

Para este tipo de monitoreo se deben prestar especial atención a las zonas densamente pobladas dentro de la región de interés del SMA, especialmente si se encuentran en las proximidades de sitios con elevados niveles de contaminantes en el aire (U.S.EPA, 2015 j).

Es altamente deseable monitorear también la calidad del aire que ingresa a la región. Para ello se deben situar estaciones dedicadas a este fin en la periferia de la región de interés. Su ubicación dependerá fuertemente de variables meteorológicas como las direcciones predominantes de los vientos en la región, entre las más importantes.

Los sitios de ubicación de las estaciones, en especial las fijas, deberían ser elegidos dentro de zonas de crecimiento programado. De esta forma se podrá evaluar la evolución de los niveles de contaminación en función de dicho crecimiento.

2.3.1.b.- Monitoreo para la evaluación de tendencias.

La evaluación de tendencias implica la selección de sitios de tal forma de abarcar, con un número mínimo de estaciones de monitoreo, una región tan extensa como sea posible (U.S.EPA, 2008 a). En estos casos, los objetivos están relacionados con la determinación de la naturaleza y extensión del aire contaminado y para observar las variaciones de niveles de contaminantes respecto de diversos factores socioeconómicos, geográficos, climatológicos, etc.

Los sitios elegidos para la instalación de las estaciones deben ser representativos de la zona que caracteriza. Se debe prestar especial atención en la selección de los mismos de tal forma que las mediciones no resulten sesgadas por situaciones puntuales en las cercanías del sitio de monitoreo, como factores topográficos, estructuras o edificación circundante, o fuentes puntuales de emisión.

En este tipo de SMA, los datos provenientes de estaciones distintas pueden ser comparados (al menos para marcar tendencias) si y sólo si las estaciones son representativas de su área.

En general las estaciones se disponen en zonas urbanas densamente pobladas. Una o más pueden ser ubicadas en regiones no urbanas próximas a la región de interés como bosques o desiertos a los fines de ofrecer mediciones de referencia.

2.3.1.c.- Monitoreo para investigaciones relacionadas a salud.

Para este tipo de investigaciones es necesario que los sitios de establecimiento de las estaciones de monitoreo sean representativos de la región cuya población está bajo estudio. Así, es recomendable que las estaciones estén ubicadas en pequeñas zonas pobladas bien definidas dentro de la comunidad cuyo estudio sea de interés (Martínez y Romieu, 1997).

El equipamiento utilizado para este tipo de investigaciones debe ser tal que ofrezca una resolución temporal pequeña. De esta forma se puede comparar la magnitud medida frente a los estándares en períodos cortos de tiempo y en caso de superarlos se comienza a trabajar en la correlación con los datos de salud.

2.3.1.d.- Monitoreo para alertas ambientales.

El objetivo de este tipo de SMA es poder alertar rápidamente sobre acontecimientos de contaminación para disparar las medidas de abatimiento correspondiente.

El equipamiento recomendado para este tipo de estaciones son monitores automáticos continuos ya que proveen una muy buena resolución temporal.

En nuestro caso el propósito del plan de monitoreo era el de realizar investigaciones relacionadas a la salud.

2.3.2.- Establecimiento de la escala espacial del SMA.

La escala espacial del SMA (Sbarato *et al*, 2001) estará estrechamente vinculada a los objetivos del mismo. Éstos últimos pueden ser muy diversos y por lo tanto la escala geográfica también. Con el objeto de poder organizar su estudio se ha dividido la magnitud del SMA en

- Microescala
- Escala Media
- Escala Intermedia
- Escala Urbana

La microescala está relacionada con SMA cuyos objetivos se desenvuelven en áreas de pequeñas dimensiones, habitualmente del orden de centenas de metros. En general este tipo de sistemas está orientado al estudio y medición de concentraciones elevadas de contaminantes en entornos de fuentes fijas de emisión.

Las escalas geográficas medias comprenden áreas que van desde los 100 metros hasta 500 metros. Sus objetivos están relacionados con la caracterización de áreas urbanas de pequeñas dimensiones en las que se estudian el efecto de concentraciones elevadas de contaminantes y el impacto de fuentes fijas.

Las escalas intermedias están asociadas al estudio de concentraciones de contaminantes en un área de la ciudad con uso uniforme del suelo en un rango de 500 metros a 4 Km. Los objetivos pueden ser múltiples y van desde el estudio de concentraciones más elevadas sobre una región hasta impacto sobre la salud, impacto de fuentes fijas y niveles de fondo.

La escala urbana comprende áreas de estudio con dimensiones que van desde los 4 km hasta 50 km. Su objetivo es cubrir la superficie completa de la ciudad, para lo cual más de un sitio de monitoreo será necesario para su caracterización.

En nuestro caso diseñamos el sistema con una escala intermedia, ya que la zona más contaminada es el microcentro de la Ciudad de Córdoba y el mismo está comprendido en la cuadrícula ambiental H6 de 2x2km.

2.3.3.- Ubicación del sitio de monitoreo.

La disposición final de los monitores en el sitio seleccionado depende de las obstrucciones físicas y de las actividades en el área inmediatamente próxima, la disponibilidad de facilidades como energía eléctrica y otras utilidades de soporte (García *et al*, 2006). Debido a que obstáculos como árboles o construcciones pueden alterar notablemente el flujo de aire, los equipos monitores deben estar lo suficientemente alejados como para que la influencia de dichos elementos no perturbe la medición.

A manera de guía se presentan los siguientes factores a tener en cuenta para la selección de los sitios de monitoreo (Álvarez-Narvaez *et al*, 2016).

2.3.3.a.- Seguridad.

Hay ocasiones en las que un sitio reúne todas las características adecuadas para instalar una estación de monitoreo de aire. Sin embargo, de existir problemas de seguridad (vandalismo en general) que no puedan remediarse mediante los sistemas habituales de seguridad o vigilancia, dicho sitio debería dejar de ser considerado.

2.3.3.b.- Logística.

La logística está asociada a todos los procedimientos habituales para mantener la funcionalidad de la estación de monitoreo e incluye transporte del personal técnico, equipos de mantenimiento, personal de operación de la estación, etc.

Dependiendo de los objetivos del sitio de monitoreo, se debe tener en cuenta la posición de la toma de muestra de tal forma que las mediciones sean representativas del evento bajo estudio. Se sugiere categorizar la ubicación de la toma de muestra respecto de su entorno próximo para establecer un criterio de selección tipificado y uniforme. A continuación se muestra una categorización de sitios y sus características asociadas (Cochran, 1995).

- Para la medición de concentraciones elevadas de contaminantes a nivel del suelo en sitios con elevados potencial de acumulación de contaminantes en zonas con características restrictivas en la ventilación, la toma de muestra debe estar ubicada a una

distancia entre 3 y 5 metros de la arteria de mayor circulación a una altura entre 3 y 6 metros sobre el suelo.

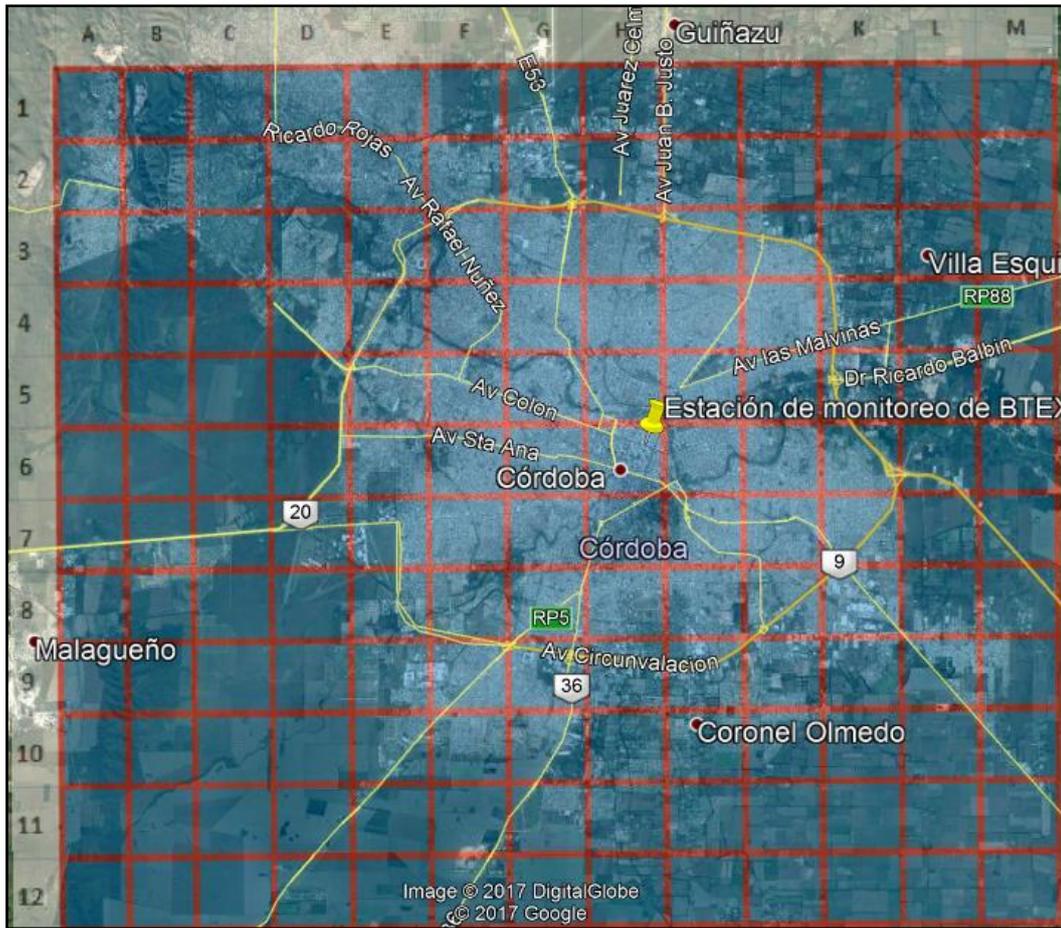


Figura 12: Ubicación de la Estación de Monitoreo.

- Para la medición de concentraciones elevadas de contaminantes a nivel del suelo en sitios con bajo potencial de acumulación de contaminantes en zonas sin características restrictivas en la ventilación, la toma de muestra debe estar ubicada a una distancia entre 3 y 15 metros de la arteria de mayor circulación a una altura entre 3 y 6 metros sobre el suelo.
- Para la medición de concentraciones moderadas de contaminantes a nivel del suelo, la toma de muestra debe estar ubicada a una distancia entre 15 y 60 metros de la arteria de mayor circulación a una altura entre 3 y 6 metros sobre el suelo.
- Para la medición de concentraciones bajas de contaminantes a nivel del suelo, la toma de muestra debe estar ubicada a una distancia mayor a 60 metros de la arteria de circulación más próxima y a una altura entre 3 y 6 metros sobre el suelo.

En nuestro caso, debido a que medimos concentraciones moderadas, el equipo estuvo en calle Rivadavia a 20 metros de la Avenida Olmos, a 4 metros de altura (Figura 12).

2.3.4.- Monitor de COV's con procedimiento homologado por U.S.EPA.

Para realizar el monitoreo (NZ, 2009) se optó por el protocolo de medición U.S.EPA TO14 apéndice B, 1999, y se contó con un monitor portátil de detección de compuestos orgánicos volátiles, marca RAE Systems modelo ppbRAE 3000 (Monitor RAE, 2014) con un tiempo de respuesta de 3 segundos, con rango ampliado en su detector de fotoionización (PID) de 1 ppb a 10.000 ppm estas características lo hace un instrumento idóneo para determinación de calidad del aire. La calibración (U.S.EPA 2008 a) la realizó la empresa SIAFA, representante local de la firma RAE.

Para el montaje seguro de los equipos se desarrolló y construyó la caja autónoma que se colocó en sitio seguro y a 4 metros de altura (ver Fig. 13).

2.3.4.a.- Procedimiento de simulación para el resto del año.

Para que todos los datos generados por la estación de monitoreo en un día sean considerado válidos se debe asegurar, como mínimo, la validez del 75% de los datos horarios (Hung, 2013).

Para que todos los datos generados por la estación de monitoreo en un mes sean considerado válidos se debe asegurar, como mínimo, la validez del 75% de los datos diarios.

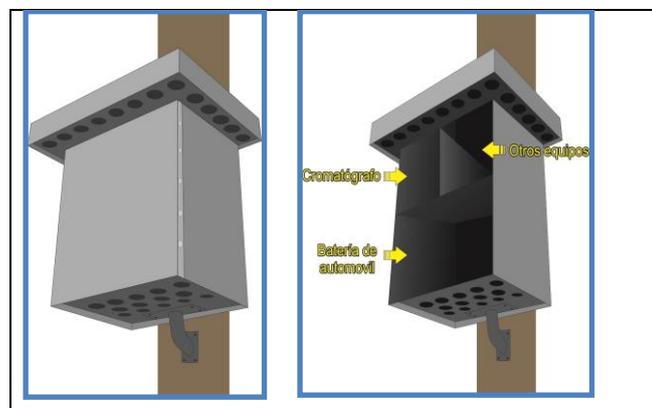


Figura 13: Unidad autónoma de monitoreo.

Para que todos los datos generados por la estación de monitoreo en un año sean considerado válidos se debe asegurar, como mínimo, la validez del 75% de los datos mensuales.

En caso contrario y para evitar descartar la totalidad de la información podremos complementar la faltante de datos recurriendo a los desarrollos en redes neuronales para simularlos, tal como ya fue desarrollado en un Trabajo Final de la “Licenciatura en Enseñanza de Ciencias del Ambiente” de UTN (Campos, 2012).

2.4.- ESTIMACIÓN DE RIEGOS PARA LA SALUD.

Nos propusimos identificar la amenaza y estimar la vulnerabilidad (exposición) sobre la base de un modelo de emisión y distribución (inmisión) del contaminante y un estudio del comportamiento de la población transeúnte en el microcentro de la Ciudad de Córdoba (H6) en contacto con el mismo. Evaluamos la exposición y la asociamos con la probabilidad de daño (riesgo de cierta enfermedad) comparando con literatura científica indexada de estimación de riesgo humano a exposiciones equivalentes a las calculadas.

Para estimar niveles de riesgo, debemos establecer:

- Porcentajes de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno en la atmósfera de la Ciudad de Córdoba.
- Los niveles guía para exposición segura al Tolueno y Xileno, por ser no carcinogénicos y los riesgos adicionales de contraer cáncer por exposición al Benceno.
- El tiempo de exposición de la población transeúnte en la cuadrícula H6.
- La distribución de población por grupo etario.
- Datos medidos de ciudades del mundo comparables a la Ciudad de Córdoba.

2.4.1.- Porcentajes de BTEX en atmósfera de la Ciudad de Córdoba.

Se realizaron dos aproximaciones:

1. Determinación de BTEX en muestra de nafta conformada.
2. Últimas mediciones Ciudad de Córdoba.
3. Revisión bibliográfica.

1) Determinación de BTEX en muestra de nafta conformada de acuerdo al consumo de naftas por marcas y tipos en la Ciudad de Córdoba: se realizaron análisis por cromatografía gaseosa en el laboratorio de CEPROCOR para establecer las relaciones de concentración entre los 4 compuestos de BTEX.

El litro de nafta súper conformado de acuerdo a los resultados expresados en Figura 20 constituido por 300 cm³ de marca ESSO, 100 cm³ de Petrobras, 220 cm³ de Shell, 40 cm³ de Blanca y 340 cm³ de YPF.

El litro de nafta Premium conformado de acuerdo a los resultados expresados en Figura 21 constituido por 210 cm³ de marca ESSO, 90 cm³ de Petrobras, 220 cm³ de Shell, 30 cm³ de Blanca, 80 cm³ de Oil y 370 cm³ de YPF.

El litro de nafta tipo conformado, del que tomamos muestra para analizar en CEPROCOR, de acuerdo a los resultados expresados en Figura 19 constituido por 290 cm³ de tipo Premium y 710 cm³ Súper.

2) Últimas mediciones Ciudad de Córdoba.

En el libro "Metodología de Diagnóstico y Pronóstico de Contaminación Atmosférica en Ecosistemas Urbanos" (Sbarato *et al*, 2001) se presentan los resultados de medición de BTEX para la Ciudad de Córdoba del año 1998, la que fue la única campaña realizada por el Observatorio Ambiental de la Ciudad de Córdoba.

A partir de:

$$BTEX = B + T + X + Eb \rightarrow \text{ecuación 2}$$

Donde

$B = \text{concentración de Benceno}$

$T = \text{concentración de Tolueno}$

$X = \text{concentración de Xilenos}$

$Eb = \text{concentración de Etilbenceno}$

Y contando con los valores experimentales de:

$$\frac{T}{B} = x_1 \rightarrow \text{ecuación 3}$$

$$\frac{X}{B} = x_2 \rightarrow \text{ecuación 4}$$

$$\frac{Eb}{B} = x_3 \rightarrow \text{ecuación 5}$$

Obtenemos que:

$$B = \frac{BTEX}{(1 + x_1 + x_2 + x_3)} \rightarrow \text{ecuación 6}$$

3) Se recopilaron y compararon los datos de 20 publicaciones referenciadas referidas a la relación entre valores concentración de Benceno con Tolueno, Xilenos y Etilbenceno en el aire urbano de distintas ciudades del mundo.

2.4.2.- Niveles guía, normas y riegos adicionales de contraer cáncer.

Para el Tolueno y Xilenos se utilizaron las Fichas Internacionales de Seguridad Química ICSC, los niveles guía de la OMS, la norma NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo del Gobierno de España, Directrices de la Comunidad Europea, Ley de Colombia y normas de U.S.EPA. Estos trabajos establecen los umbrales de exposición seguros a estos compuestos no cancerígenos (Tabla 11).

Para el Benceno, en cambio, por ser cancerígeno para los humanos no se puede recomendar un nivel seguro de exposición. En este caso utilizamos la Estimación del Exceso de Riesgo de contraer Cáncer por exposiciones a distintas concentraciones de Benceno que estableció la OMS en 1999 (OMS, 2000).

Contaminante	µg/m ³	Tiempo de Promediación	Entidad
BENCENO	5	1 año	U.S.EPA (U.S.EPA, 2015).
TOLUENO			
XILENO			
BENCENO	5	1 año	EUROPA (Directiva Europea de Calidad del Aire, 2000)
TOLUENO			
XILENO			
BENCENO	5	1 año	COLOMBIA (Rubiano- Hernández, 2013)
TOLUENO	260	1 semana	
	1000	30 minutos	
XILENO	--	--	
BENCENO	--	--	OMS OMS, 2000).
TOLUENO	260	1 semana	
XILENO	4800	24 horas	
	870	1 año	

Tabla 11: Comparación de normas y recomendaciones locales e internacionales

Numerosos estudios (Crump y Allen, 1984), (Rinsky *et al*, 1987), (Paustenbach *et al*, 1992), (Paxton *et al*, 1994 a), (Paxton *et al*, 1994 b), (Brett *et al*, 1989), (Crump, 1994), (OMS, 2000), establecen que la media geométrica del rango de estimaciones del riesgo adicional de contraer leucemia, estimado a partir de una exposición de por vida a una concentración de 1 µg/m³ es 6x10⁻⁶. Las concentraciones de Benceno en el aire asociado con un riesgo adicional de contraer leucemia, estimado a partir de una exposición de por vida, es de 1x10⁻⁴, 1x10⁻⁵ y 1x10⁻⁶ son, respectivamente, 17, 1.7 y 0.17 µg/m³. Con estos valores trazamos una recta sobre la que contrastamos nuestras mediciones.

Los efectos esperados en la salud de la población expuesta para el Benceno son (Tabla 12):

Concentración de Benceno	Efecto
1,5-4,7 ppm	Detección de olor (La alerta por el olor es insuficiente).
50-150 ppm	Exposiciones de 5 horas a esta concentración pueden causar dolor de cabeza, desfallecimiento y debilidad.
500 ppm	Exposiciones de 60 minutos a esta concentración pueden conducir a síntomas de enfermedad.
700-3000 ppm	Puede causar somnolencia, mareos, taquicardia, dolor de cabeza, temblores, confusión e inconsciencia.
A partir de 3000 ppm	Puede provocar envenenamiento agudo, caracterizado por la acción narcótica del Benceno en el SNC.
7500 ppm	Exposiciones de 30 minutos a esta concentración pueden ser fatales.
10000-20000 ppm	Exposiciones de 5 a 10 minutos a esta concentración puede provocar la muerte.

Tabla 12. Efecto de la concentración de Benceno en la salud

Los efectos esperados en la salud de la población expuesta para el Tolueno son (Tabla 13):

Concentración de Tolueno	Efecto
2,14 ppm	Detección de olor.
50-100 ppm	Fatiga o dolor de cabeza. Deterioro observable del tiempo de reacción o de la coordinación.
200 ppm	Irritación suave de los ojos y de la garganta.
100-300 ppm	Se pueden producir indicios perceptibles de incoordinación en periodos de exposición de hasta 8 horas.
400 ppm	Lagrimo e irritación de ojos y garganta.
300-800 ppm	Se pueden esperar grandes indicios de incoordinación en periodos de exposición de hasta 8 horas.
600-800 ppm	Causa fatiga, nauseas, exposiciones de 3 horas. Confusión y ataxia.
1500 ppm	Probablemente no es mortal durante periodos de exposición de hasta 8 horas.
4000 ppm	Probablemente perjudicaría rápidamente al tiempo de reacción y a la coordinación. Exposiciones de una hora o más pueden conducir a depresión del SNC y posiblemente a la muerte.
7000 ppm	Se ha observado paresis, amnesia y estupefacción.
10000 ppm	Causa anestesia general.
10000-30000 ppm	En pocos minutos aparece la depresión del SNC, exposiciones más prolongadas pueden ser mortales.

Tabla 13. Efecto de la concentración de Tolueno en la salud

Los efectos esperados en la salud de la población expuesta para los Xilenos son (Tabla 14):

Concentración de Xileno	Efecto
30-350 ppm	Se ha asociado con anorexia, gusto dulce en la boca, nauseas y vómitos.
100-690 ppm	Pueden producir efectos leves en la memoria a corto plazo y en el tiempo de reacción, leves mareos, somnolencia, dolor de cabeza y vértigo.
900 ppm	IDLH (Inmediatamente peligroso para la vida y la salud; 30 minutos).
Mayor de 3000 ppm	Pueden causar depresión del SNC con confusión y coma.

Mayor de 6000 ppm	Dos muertes se produjeron por la exposición a vapor concentrado durante una exposición de más de 12 horas.
10000 ppm	Concentración mínima letal en aire.

Tabla 14. Efecto de la concentración de Xilenos en la salud

2.4.3.- El tiempo de exposición de la población transeúnte en el microcentro.

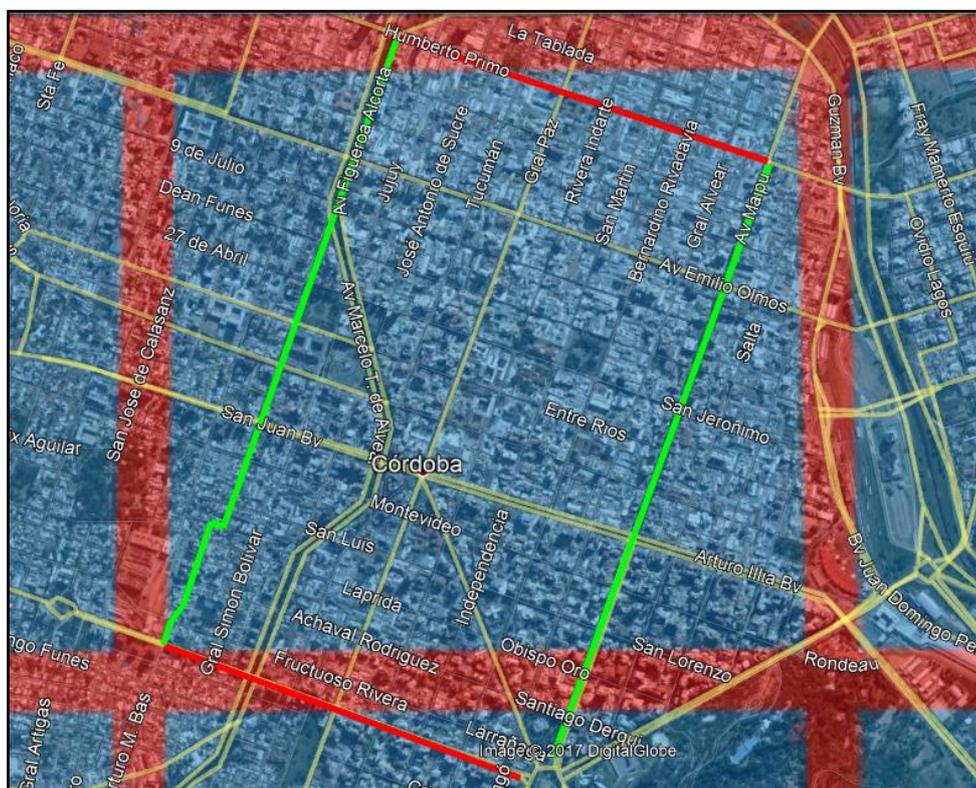


Figura 14: límites de la zona de máxima exposición de población transeúnte.

El microcentro de la Ciudad de Córdoba, a los fines de este estudio, se encuentra limitado por las calles Humberto Primo - Sarmiento, Pueyrredón - Estrada, Chacabuco - Maipú, Figueroa Alcorta - Arturo M. Bas (Figura 14).

Para determinar el tiempo de exposición o permanencia de la población transeúnte en el sector se realizaron encuestas, de lunes a sábado en turnos mañana (8 a 11 horas) y tarde (14 a 17 horas). En estas encuestas se interrogaba a personas mayores de edad sobre el número de días en que arribaba al centro por semana y cuál era el tiempo aproximado de permanencia. Se definieron 13 circuitos compuestos por 2 calles cada uno (Figura 15). Los 13 encuestadores realizaron 40 encuestas por cada circuito, en cada turno (salvo el sábado turno tarde) durante una semana. Se realizaron entonces 5720 encuestas, las que fueron procesadas por día, por circuito y por semana en todos los circuitos. De esta manera obtuvimos un valor promedio de horas de exposición semanal de la población transeúnte en la cuadrícula H6, correspondiente al microcentro de la Ciudad de Córdoba.

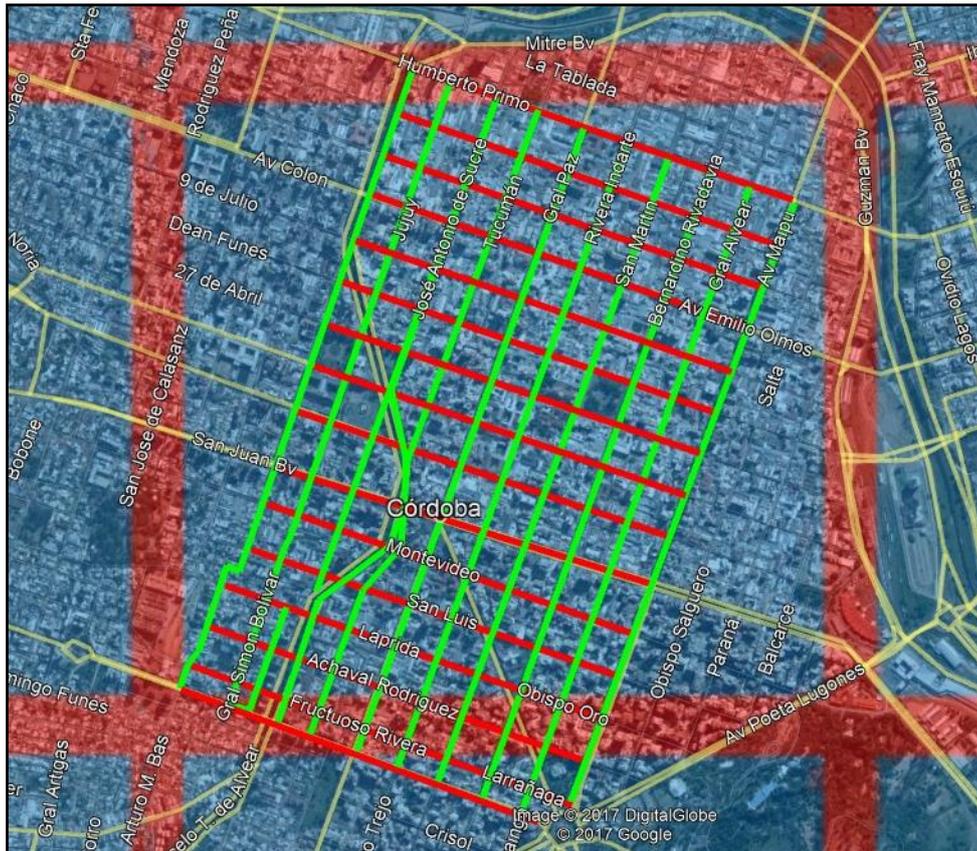


Figura 15: Cada circuito involucra dos calles paralelas. Tenemos 5 circuitos marcados en color verde y 8 en color rojo.

2.4.4.- La distribución de población por grupo etario.

La fuente de información utilizada es el censo nacional 2010 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), desde allí se procesaron datos relativos a crecimiento poblacional y al censo 2001 del INDEC donde se obtuvieron los porcentajes de la población por grupo etario.

2.4.5.- Datos medidos de ciudades del mundo comparables a la Ciudad de Córdoba.

Se realizó una búsqueda de bibliografía indexada de la que obtuvimos datos de 70 ciudades chinas, indias, inglesas, canadienses, estadounidenses, mexicanas y colombianas en las que se realizaron monitoreos de COV's en la última década y se procedió a su tabulación.

RESULTADOS

3.1.- ESTIMACIÓN DE COV's EMITIDOS POR FUENTES FIJAS Y MÓVILES.

3.1.1.- Inventario de emisiones de COV's por estaciones de servicio.

3.1.1.a.- Georeferenciación de las estaciones de servicio de la Ciudad de Córdoba.

Los resultados se presentan en la Figura 16 y 17.

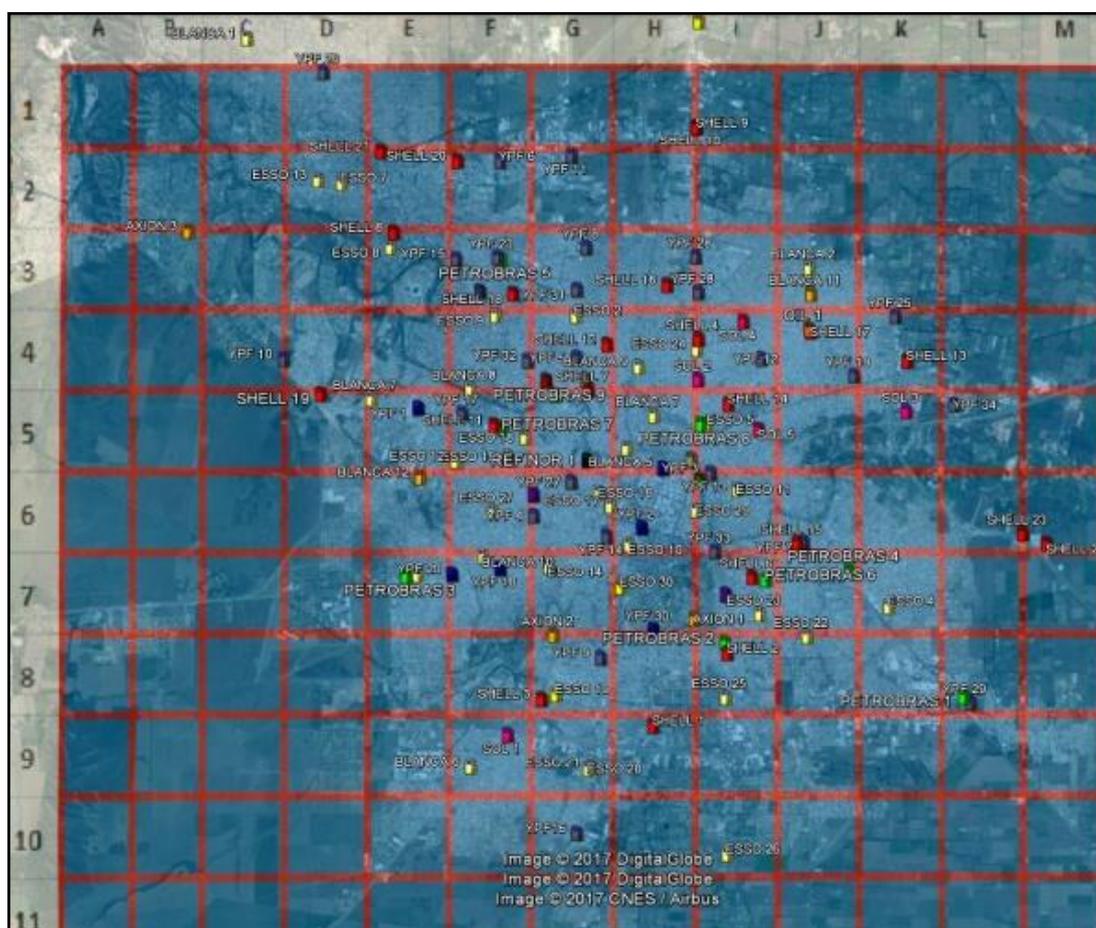


Figura 16: Captura de Google Earth donde ubicamos la grilla ambiental y las 116 estaciones de servicio divididas por marcas.

3.1.1.b.- Estudio del volumen de combustibles por tipo y marca.

En la Tabla 15 y la Figura 18 se puede observar el volumen total de combustibles líquidos y su distribución entre naftas y gasoiles.

CIUDAD DE CÓRDOBA, AÑO 2015	
Combustibles Líquidos [m ³]	
1.720.972	
Naftas [m ³]	Gasoiles [m ³]
986.546	734.426

Tabla 15: Total de combustibles líquidos expedidos en la Ciudad de Córdoba en 2015 y su proporción en naftas y gasoiles.



Figura 17: En una aproximación podemos los datos de la empresa (dirección, ventas anuales de naftas, pérdidas anuales, factor de emisión en m³/s y g/s), que están incorporados para cada punto de Google Earth.

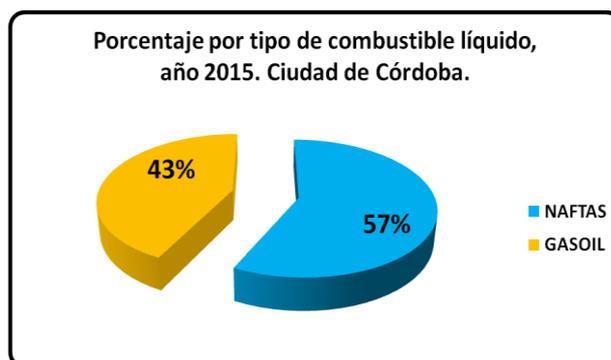


Figura 18: Porcentaje de ventas de naftas y gasoiles, Ciudad de Córdoba, año 2015.

Las naftas menores a 95 octanos (comunes como nombre genérico), si bien se venden aún, significan un porcentaje del total menor al 1%, por lo que solo representamos en Tabla 116 y Figura 19 las naftas 95 octanos a las que llamaremos Súper y las de 97 octanos que denominaremos Premium.

CIUDAD DE CÓRDOBA, AÑO 2015	
Naftas [m ³]	
986.546	
Súper [m ³]	Premium [m ³]
702.090	284.388

Tabla 16: Total de naftas expedidas en la Ciudad de Córdoba en 2015 y su proporción en Súper y Premium.

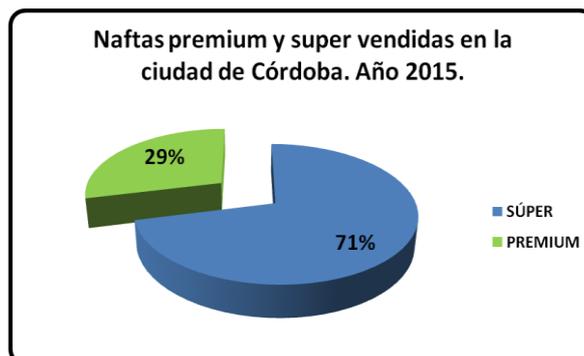


Figura 19: Porcentaje de ventas de naftas Súper y Premium, Ciudad de Córdoba, año 2015.

En las las Figuras 20 y 21 veremos la distribución de marcas para la nafta Súper y Premium.

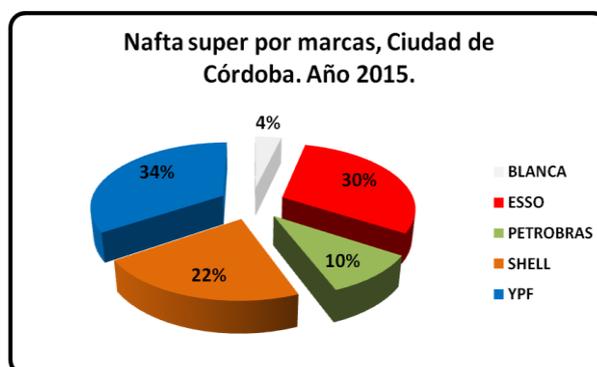


Figura 20: Porcentajes de ventas de naftas Súper discriminada por marcas comerciales, año 2015.

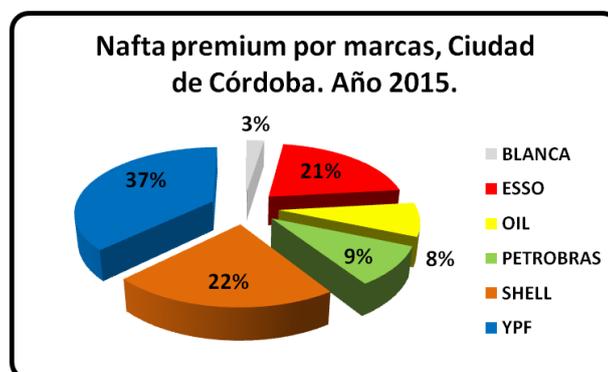


Figura 21: Porcentajes de ventas de naftas Premium discriminada por marcas comerciales, año 2015.

3.1.1.c.- Resultado.

Para el cálculo de las emisiones se contaron las estaciones de servicio en cada cuadrícula de la Grilla Ambiental y a cada una se le asignó un valor promedio de pérdida por estación de servicio.

Para calcular la pérdida promedio, y considerando que no había variaciones significativas en cuanto al almacenamiento y expendio de combustibles en las últimas

décadas, se utilizó el porcentaje de pérdida para la Ciudad de Córdoba (Evequoz *et al*, 2000) de 0,22% del total vendido en la ciudad 986.546 m³. A este valor (2170 m³) se lo dividió por 116 (el número de estaciones de servicio en 2015). El valor obtenido para la pérdida anual promedio por estación de servicio es 18,7 m³. A los fines de la modelación se redondea el valor de 20 m³ por estación de servicio por año y se considera una densidad media de la nafta de 680g/l. A continuación se muestra como se distribuyen por cuadrícula los 47 g/s que se emiten en toda la ciudad (Figura 22).

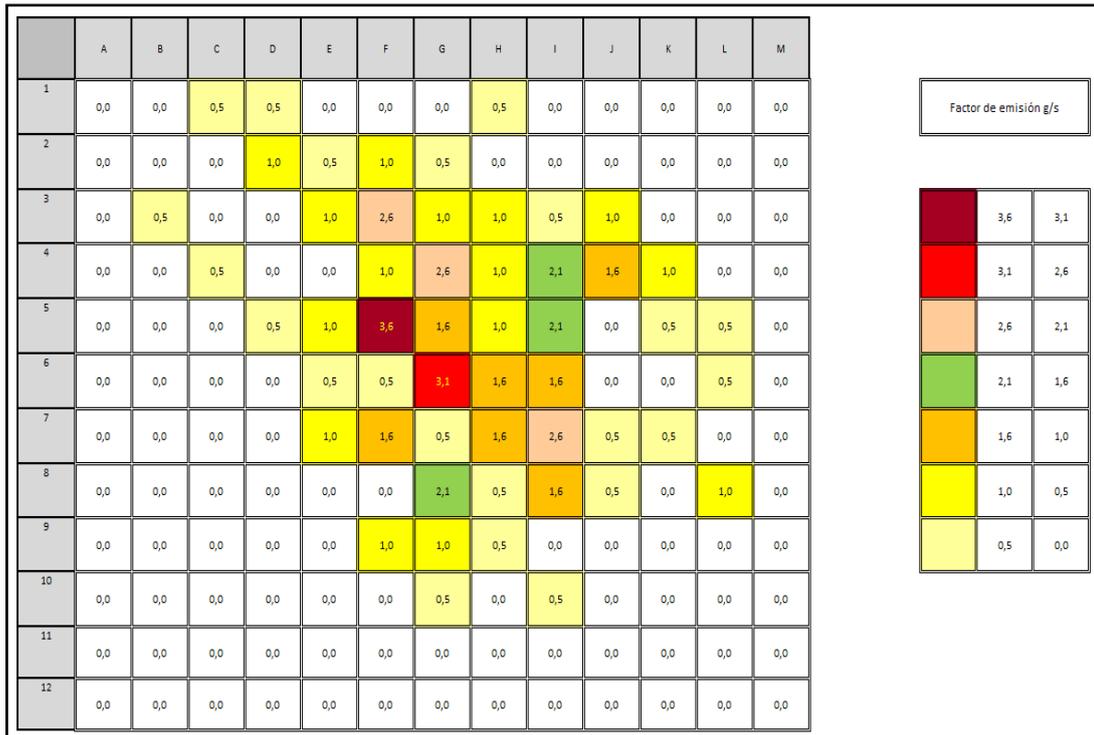


Figura 22: Factores de emisión en g/s para COV's.

3.1.2.- Inventario de emisiones de COV's por fuentes móviles.

3.1.2.a.- Inventario Ciudad de Córdoba 1999.

El Inventario de emisiones de de COV's por fuentes móviles realizado en el Observatorio Ambiental de la Ciudad de Córdoba en el año 1999 utilizando el software MOBILE 5 se muestra en la Figura 23.

3.1.2.b.- Flota vehicular por número de vehículos, por tipo y por combustible utilizado.

En la Figura 24 se observa el crecimiento de la flota vehicular. Entre 1999 y 2014 la flota creció en un 143%, pasando de 224.449 unidades a 546.546.

Las motocicletas, pasaron en todo el territorio nacional de 3 a 6 millones entre 2009 y 2014.

No hay información sobre porcentajes de motocicletas provinciales y por ciudad, por lo que modo de simple estimación utilizamos los mismos porcentajes del total de flota de automotores para la provincia y Ciudad de Córdoba obtenemos que en 2009 circulaban 125.000 unidades y en 2014 los hacían 250.000.

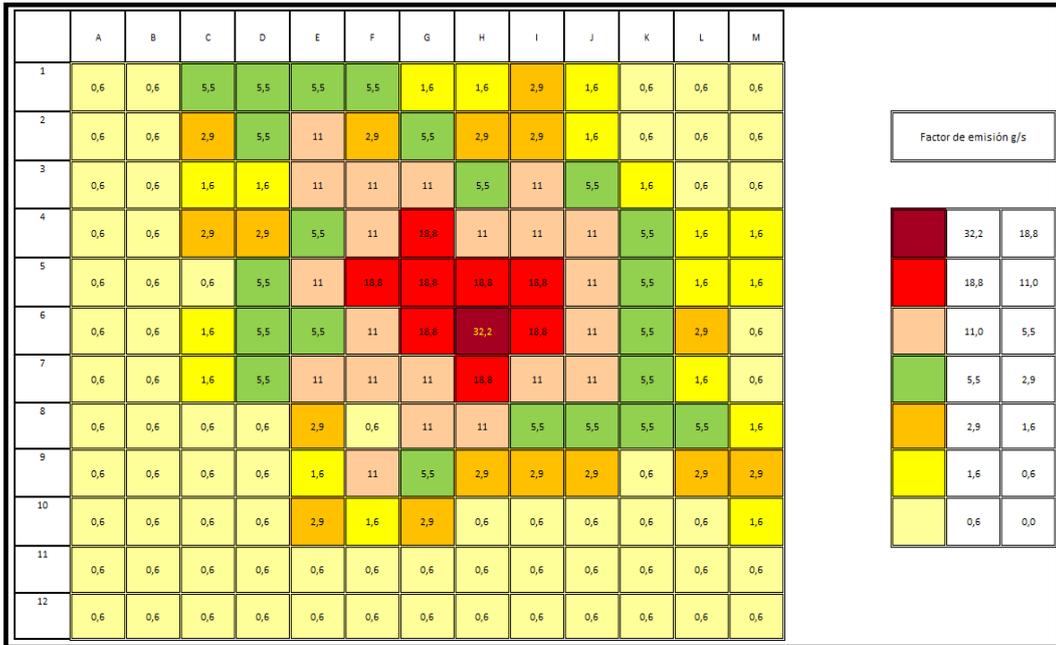


Figura 23: Factores de emisión en g/s para fuentes móviles, año 1999.

La Figura 25 corresponde la composición de flota por tipo de vehículo. La antigüedad promedio de la flota es de 14 años.

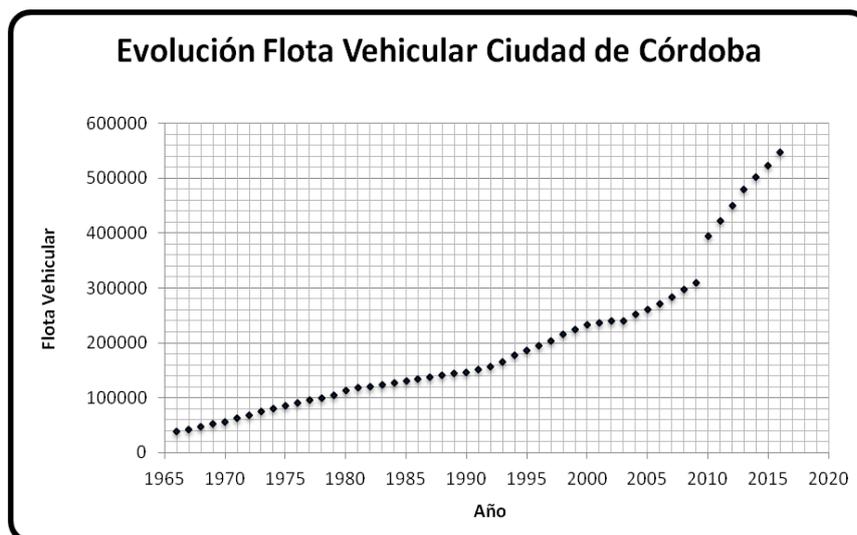


Figura 24: Crecimiento de la Flota vehicular.

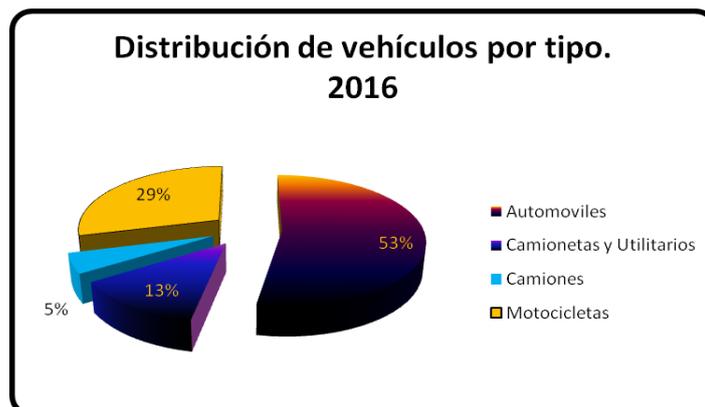


Figura 25: Composición de flota por tipo de vehículo, calculada a partir del relevamiento de 5000 vehículos, en 3 estaciones de servicio, entre el 13 y 18 de octubre de 2014.

La Figura 26 corresponde a la composición de flota por de tipo de combustible. De los 550.00 automotores que ingresan a las estaciones (no se contaron motocicletas, pues el 100% utiliza naftas) 225.00 utilizan nafta como único combustible y 99.000 más utilizan alternativamente GNC o naftas.

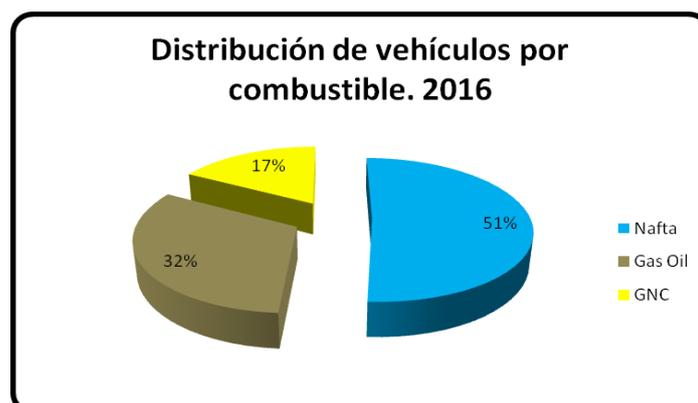


Figura 26: Composición de flota por de tipo de combustible, calculada a partir del relevamiento de 5000 vehículos, en 3 estaciones de servicio, entre el 13 y 18 de octubre de 2014.

3.1.2.c.- Resultado.

El inventario de emisiones de COV's 2014 se basa en la extrapolación a partir del Inventario de 1999 realizado por el Observatorio Ambiental de la Ciudad de Córdoba. Ante la ausencia de información precisa de uso de tipos de combustibles en la flota vehicular en ese año, asumimos que los mismos valores nos rigen ahora.

Los 14 años promedio de antigüedad de la flota vehicular nos dice que el grueso de los vehículos automotores (se excluyen motocicletas) utiliza convertidor catalítico. Esto no ocurría en 1999.

El aumento de un 143% de la flota hace que los congestionamientos y la velocidad media de circulación disminuyan. Lo que hace que las emisiones aumenten.

Se optó por multiplicar por el factor de crecimiento de flota vehicular y asumir que las causas evidentes de aumento y disminución de las emisiones por vehículo se contrarrestan.

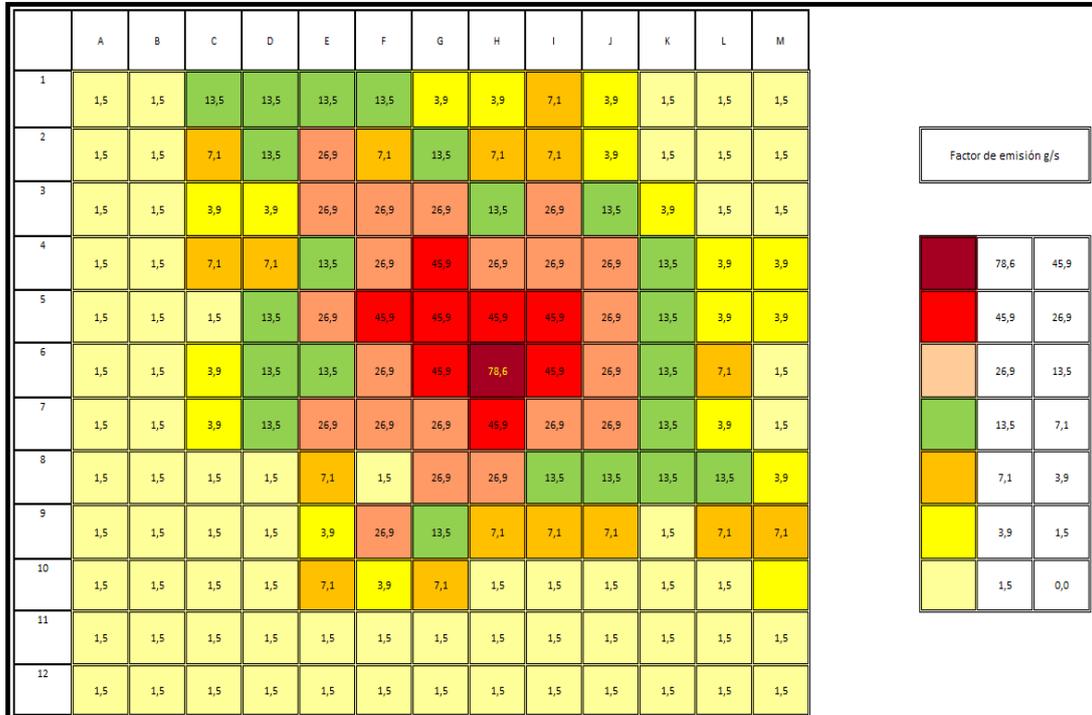


Figura 27: Inventario de fuentes móviles 2014

La flota circulante a nafta está constituida por 250.000 automóviles y 250.000 motocicletas.

A los fines del cálculo supusimos que el automóvil representativo es uno que tiene una cilindrada entre 1.400 cm³ y 2.000 cm³, supusimos además que la mitad de los vehículos tienen convertidores catalíticos de tres vías no controlados y la otra mitad convertidores catalíticos de tres vías controlados. El factor de emisión promedio de la flota vehicular (excluyendo motocicletas) es 3,89 kg/ton de combustible.

Asumimos que la totalidad de las motocicletas poseen una cilindrada superior a 50 cm³ y motor de 4 tiempos. El factor de emisión promedio de la flota vehicular (solo motocicletas) es 80 kg/ton de combustible.

Si las motocicletas consumen el 25% del combustible y los automóviles lo restante, tenemos para la Ciudad de Córdoba una emisión de 450 g/s de COV's.

La Figura 27 es el la distribución espacial del inventario de emisiones de los 450 g/s de COV's para fuentes móviles de la Ciudad de Córdoba adecuado por extrapolación al año 2014.

3.2.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE COV's.

3.2.1.- Datos Meteorológicos.

Los datos históricos por década del Servicio Meteorológico Nacional para el Centro (G6) de la Ciudad de Córdoba (1873-2010), para las cuatro estaciones del año y para el promedio anual, están representados en las Tablas 17, 18, 19, 20 y 21.

Verano								
	Presión	Temp.	Temp.	Temp.	Hum.	Lluvia	V.V.	Dir.V.
Período		Media	Máx.	Mín.	Rel.		Media	Pred.
	(hPa)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(mm)	(m/s)	
1873-1922	962,9	22,6	30,1	15,7	65	111	2,5	NE
1873-1990	962,5	23,1	30,7	16,3	64	111	2,2	NE
1902-1952	962,9	23,3	31,5	16,1	62	102	2,2	NE
1951-1960	961,5	23,1	30,6	16,5	64	109	1,9	NE
1961-1970	961,3	23,4	30,7	17,1	61	107	1,7	NE
1971-1980	961,5	23,3	30,5	17,5	65	133	1,7	NE
1981-1990	961,7	23,6	30,5	18,1	67	124	1,4	NE
1991-2000	961,0	23,7	30,7	18,3	65	126	1,1	NE
2001-2010	960,7	23,8	30,7	18,6	65	130	1,1	NE

Tabla 17: Datos históricos por década para Verano.

Otoño								
	Presión	Temp.	Temp.	Temp.	Hum.	Lluvia	V.V.	Dir.V.
Período		Media	Máx.	Mín.	Rel.		Media	Pred.
	(hPa)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(mm)	(m/s)	
1873-1922	966,2	16,8	24,0	10,5	71	52	2,2	NE
1873-1990	965,7	17,2	24,5	11,1	70	55	1,7	NE
1902-1952	966,1	17,2	24,7	10,8	71	56	1,7	NE
1951-1960	964,9	17,0	24,4	10,9	70	52	1,7	NE
1961-1970	964,9	18,1	25,0	12,4	69	51	1,4	NE
1971-1980	964,9	17,7	24,7	12,2	71	67	1,4	NE
1981-1990	964,2	17,9	24,8	12,7	71	63	1,4	NE
1991-2000	964,1	18,2	25,0	13,0	70	64	1,1	NE
2001-2010	963,7	18,3	25,1	13,4	70	66	1,1	NE

Tabla 18: Datos históricos por década para Otoño.

Invierno								
	Presión	Temp.	Temp.	Temp.	Hum.	Lluvia	V.V.	Dir.V.
Período		Media	Máx.	Mín.	Rel.		Media	Pred.
	(hPa)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(mm)	(m/s)	
1873-1922	968,1	10,7	18,6	3,7	62	10	2,5	S
1873-1990	967,5	11,2	19,0	4,5	63	10	1,9	S
1902-1952	968,1	10,4	19,1	4,0	63	11	1,9	S
1951-1960	966,5	11,3	21,0	5,2	65	10	1,7	S
1961-1970	966,5	12,0	19,5	5,8	60	10	1,4	S
1971-1980	966,2	12,0	19,4	5,9	67	13	1,4	S
1981-1990	966,7	11,9	19,3	6,2	64	11	1,1	S
1991-2000	965,9	12,3	19,9	6,8	65	12	0,8	S
2001-2010	965,7	12,6	20,0	7,2	65	12	0,6	S

Tabla 19: Datos históricos por década para Invierno.

Primavera								
	Presión	Temp.	Temp.	Temp.	Hum.	Lluvia	V.V.	Dir.V.
Período		Media	Máx.	Mín.	Rel.		Media	Pred.
	(hPa)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(mm)	(m/s)	
1873-1922	966,3	17,5	24,9	10,3	59	65	3,3	NE
1873-1990	965,3	17,9	25,4	10,9	58	64	2,5	NE
1902-1952	965,8	17,3	25,5	10,3	69	62	2,2	NE
1951-1960	963,5	18,1	25,4	11,4	58	70	2,2	NE
1961-1970	964,2	18,4	25,7	12,0	56	73	1,9	NE
1971-1980	964,5	18,6	26,0	12,1	57	63	2,2	NE
1981-1990	964,3	18,8	26,0	12,8	58	61	1,9	NE
1991-2000	963,5	19,0	26,2	13,1	57	65	1,7	NE
2001-2010	963,3	19,2	26,4	13,5	56	65	1,4	NE

Tabla 20: Datos históricos por década para Primavera.

Anual								
	Presión	Temp.	Temp.	Temp.	Hum.	Lluvia	V.V.	Dir.V.
Período		Media	Máx.	Mín.	Rel.		Media	Pred.
	(hPa)	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(mm)	(m/s)	
1873-1922	965,8	16,9	24,4	10,0	64	704	195,6	NE
1873-1990	965,3	17,4	24,9	10,7	64	720	200,0	NE
1902-1952	965,7	17,0	25,2	10,3	66	693	192,5	NE
1951-1960	964,1	17,4	25,4	11,0	64	723	200,8	NE
1961-1970	964,2	18,0	25,2	11,8	62	723	200,8	NE
1971-1980	964,3	17,9	25,2	11,9	65	828	230,0	NE
1981-1990	964,2	18,0	25,2	12,4	65	777	215,8	NE
1991-2000	963,7	18,3	25,5	12,8	64	802	222,8	NE
2001-2010	963,3	18,5	25,6	13,2	64	817	226,9	NE

Tabla 21: Datos históricos por década para Anual.

En las Tablas 22, 23, 24, 25 y 26 se representan los valores promedio estacionales y anuales de las estaciones meteorológicas automáticas Easyweather PCE-FWS 20. Los valores de estas tres estaciones se promediaron, obteniéndose así un valor representativo para la ciudad.

Verano						
	Presión	Temp.	Hum.	Lluvia	V.V.	Dir.V.
Período		Media	Rel.		Media	Pred.
	(hPa)	(°C)	(%)	(mm)	(m/s)	
2014	961,4	22,2	62	116	3,1	NE
2015	959,4	23,0	68	117	2,9	NE
promedio	960,4	22,6	65	117	3,0	NE

Tabla 22: Datos promedio verano 2014-2015.

Otoño						
	Presión	Temp.	Hum.	Lluvia	V.V.	Dir.V.
Período		Media	Rel.		Media	Pred.
	(hPa)	(°C)	(%)	(mm)	(m/s)	
2014	963,1	16,8	63	56	2,2	NE
2015	965,1	15,8	63	60	1,9	NE
promedio	964,1	16,3	63	58	2,6	NE

Tabla 23: Datos promedio otoño 2014-2015.

Invierno						
	Presión	Temp.	Hum.	Lluvia	V.V.	Dir.V.
Período		Media	Rel.		Media	Pred.
	(hPa)	(°C)	(%)	(mm)	(m/s)	
2014	963,5	15,1	62	9	1,7	S
2015	961,5	15,3	58	13	1,7	S
promedio	962,5	15,2	60	11	2,0	S

Tabla 24: Datos promedio invierno 2014-2015.

Primavera						
	Presión	Temp.	Hum.	Lluvia	V.V.	Dir.V.
Período		Media	Rel.		Media	Pred.
	(hPa)	(°C)	(%)	(mm)	(m/s)	
2014	965,4	20,7	68	64	1,7	NE
2015	966,3	21,1	68	66	1,4	NE
promedio	965,9	20,9	68	65	2,1	NE

Tabla 25: Datos promedio primavera 2014-2015.

Anual						
	Presión	Temp.	Hum.	Lluvia	V.V.	Dir.V.
Período		Media	Rel.		Media	Pred.
	(hPa)	(°C)	(%)	(mm)	(m/s)	
2014	963,1	18,7	64	822	2,1	NE
2015	965,1	18,9	64	818	2,0	NE
promedio	964,1	18,8	64	820	2,4	NE

Tabla 26: Datos promedio anual 2014-2015.

La información que obtenemos en las estaciones meteorológicas automáticas, son mucho más ricas en cuanto a las perspectivas del presente trabajo que las del SMN que solo presenta estadísticas por década. Los datos estadísticos anuales nos sirvieron para corroborar que nuestras estaciones miden valores indistinguibles de los oficiales.

En las Figuras 28 y 29 se muestran las Rosas de los vientos del año 2014 y 2015, correspondiente los valores promedios de las tres estaciones meteorológicas.

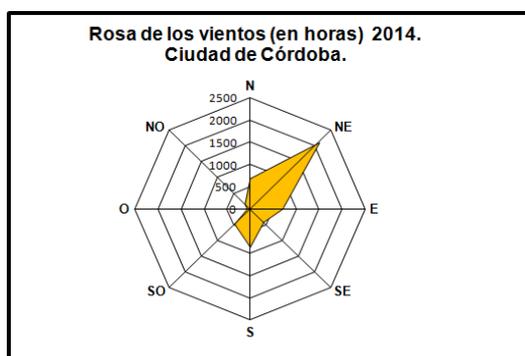


Figura 28: Frecuencia en la dirección de vientos (en horas) durante (a) 2014.

La variación diaria estacional de los promedios horarios del valor representativo de lugar (promedio de los valores obtenidos para cada hora) y para el año conformado

(promedio entre los valores 2014 y 2015), para las cuatro estaciones del año y para el promedio anual, están representados en las Figuras 30, 31, 32 y 33.

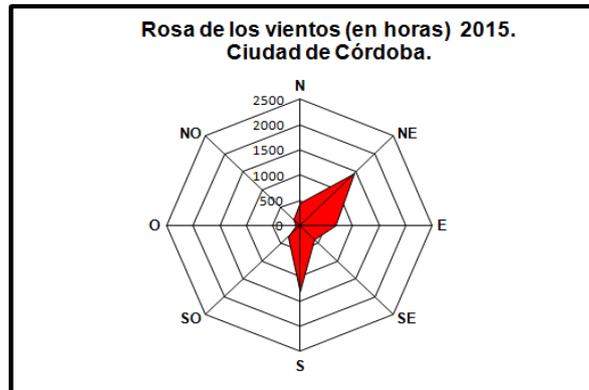


Figura 29: Frecuencia en la dirección de vientos (en horas) durante 2015.

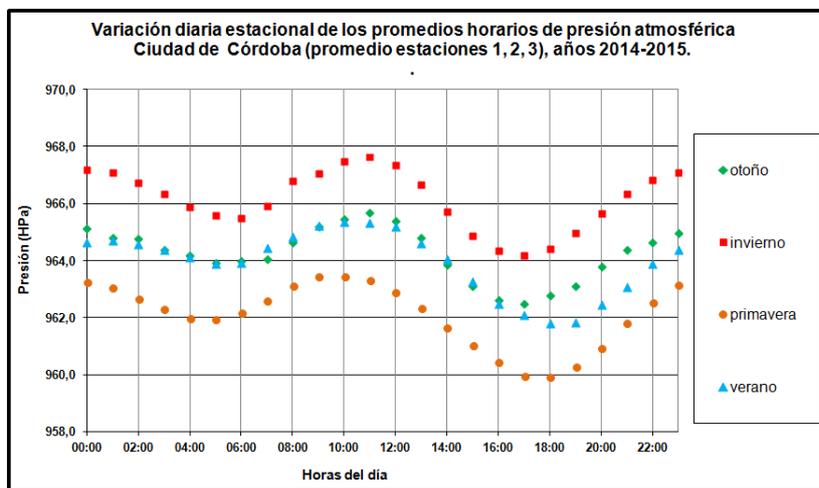


Figura 30: Variación horaria estacional de la presión atmosférica.

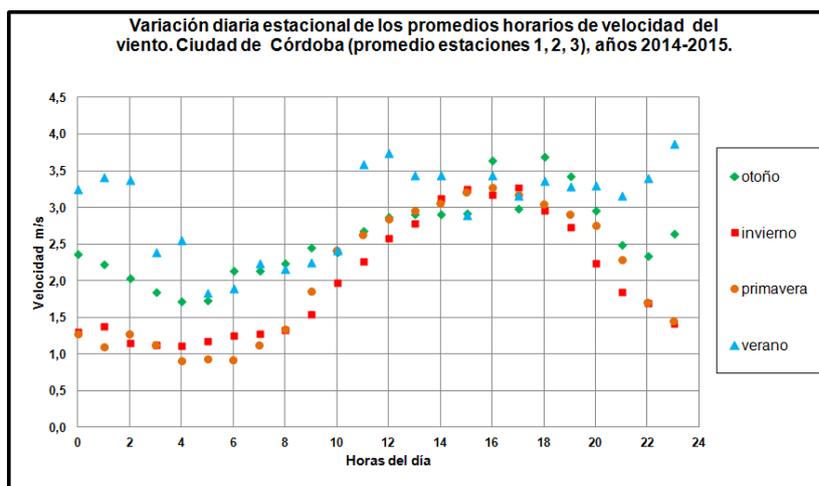


Figura 31: Variación horaria estacional de la velocidad del viento.

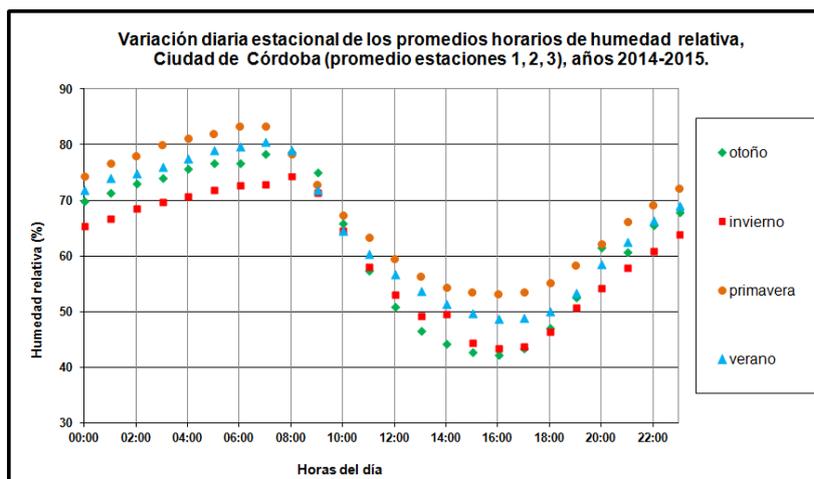


Figura 32: Variación horaria estacional de la humedad relativa.

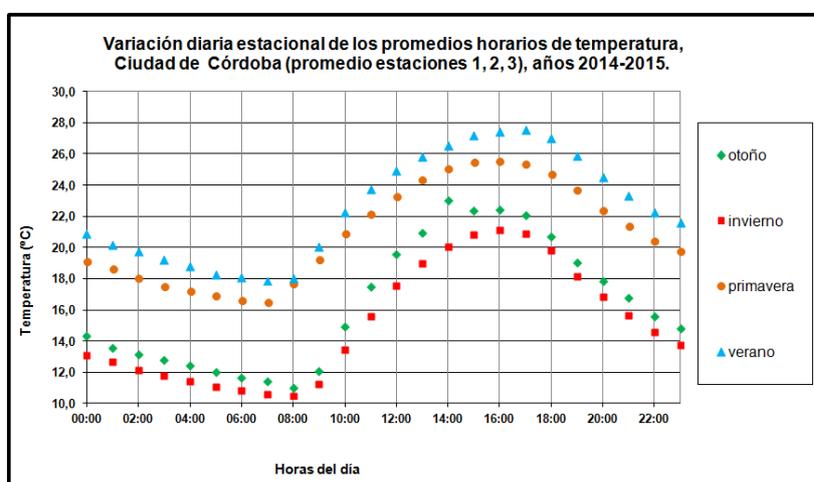


Figura 33: Variación horaria estacional A temperatura ambiente.

3.2.2.- Resultados

Primeramente simulamos las concentraciones de COV's para estaciones de servicio en el verano de 2015.

Los valores ingresados para el verano son:

- Tasa de emisión [$g/s \times m^2$]: factor de emisión [g/s] determinado para cada cuadrícula en Figura 22 dividido por $4 \times 10^{+06} m^2$.
- Altura de la fuente de liberación [m]: 1
- Longitud del lado más largo del área rectangular [m]: 2.000
- Longitud del lado más corto del área rectangular [m]: 2.000
- Altura del receptor sobre el suelo [m]: 2
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural): U
- Opción de búsqueda de dirección del viento (si no, especificar ángulo deseado).

Dirección del viento: 45°

Velocidad del Viento [m/s]: 3

Los resultados obtenidos para las concentraciones se representan en la Figura 34.

Luego simulamos las concentraciones de COV's para estaciones de servicio en el invierno de 2015.

Los valores ingresados para el caso de invierno son:

- Tasa de emisión [$g/s \times m^2$]: factor de emisión [g/s] determinado para cada cuadrícula en Figura 22 dividido por $4 \times 10^{+06} m^2$.
- Altura de la fuente de liberación [m]: 1
- Longitud del lado más largo del área rectangular [m]: 2.000
- Longitud del lado más corto del área rectangular [m]: 2.000
- Altura del receptor sobre el suelo [m]: 2
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural): U
- Opción de búsqueda de dirección del viento (si no, especificar ángulo deseado).

Dirección del viento: 45°

Velocidad del Viento [m/s]: 2

Los resultados obtenidos para las concentraciones se representan en la Figura 35.

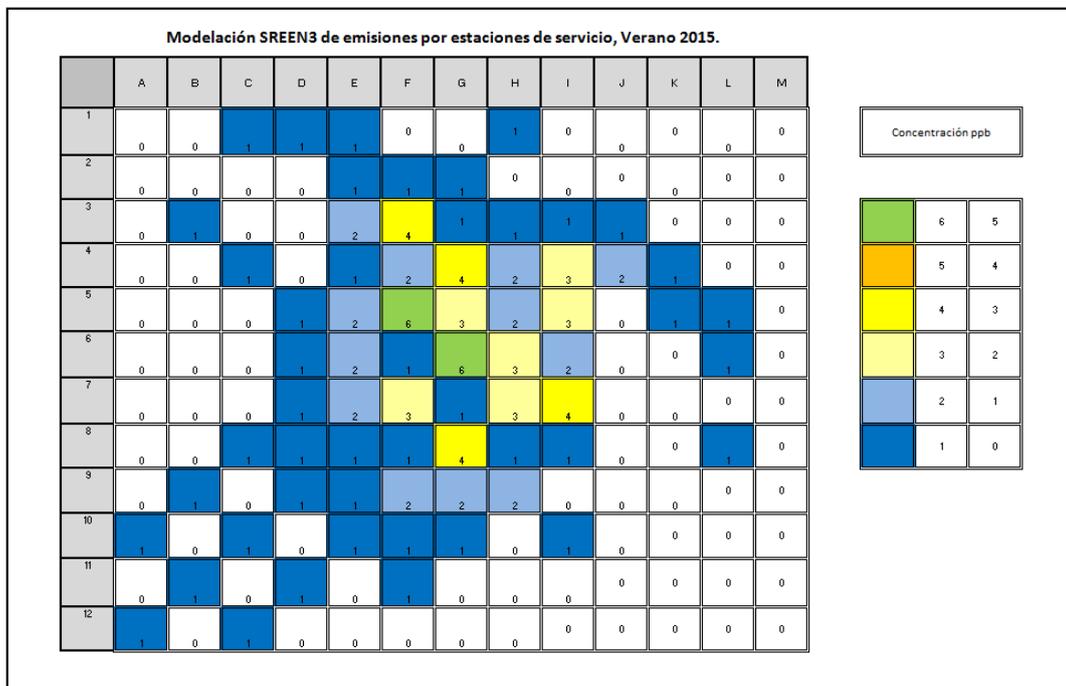


Figura 34: Concentraciones de COV's emitidos por estaciones de servicios en la grilla ambiental de la Ciudad de Córdoba, verano 2015.

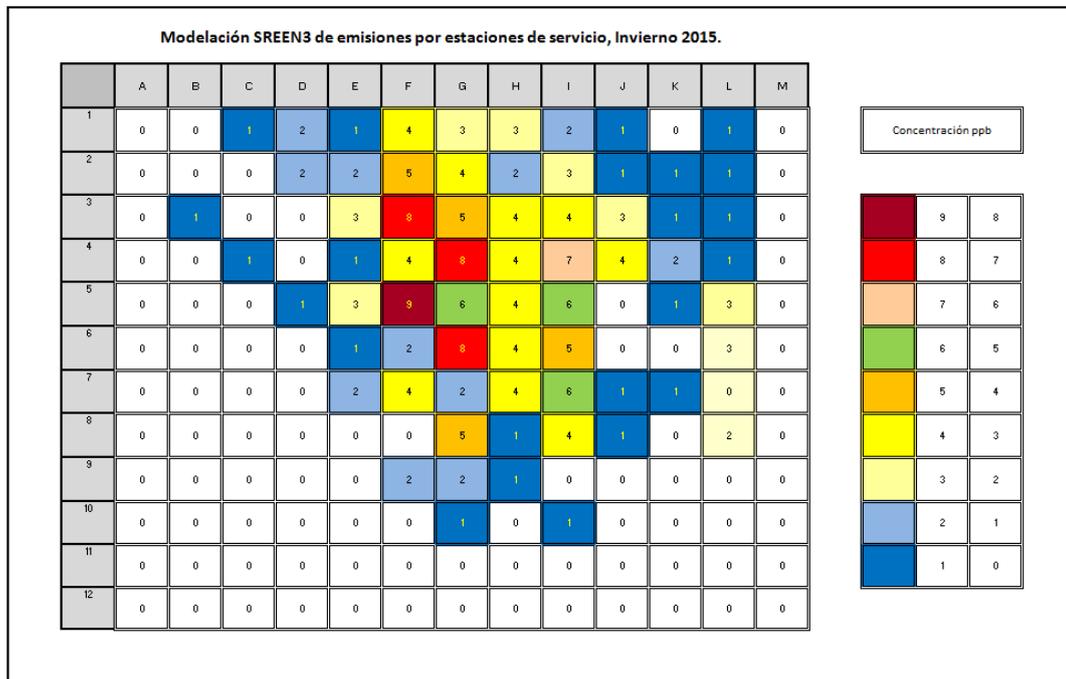


Figura 35: Concentraciones de COV's emitidos por estaciones de servicios en la grilla ambiental de la Ciudad de Córdoba, invierno 2015.

A continuación simulamos las concentraciones de COV's para fuentes móviles en el verano de 2015.

Los valores ingresados para el caso de verano son:

- Tasa de emisión [$g/s \times m^2$]: factor de emisión [g/s] determinado para cada cuadrícula en Figura 27 dividido por $4 \times 10^{+06} m^2$.
- Altura de la fuente de liberación [m]: 1
- Longitud del lado más largo del área rectangular [m]: 2.000
- Longitud del lado más corto del área rectangular [m]: 2.000
- Altura del receptor sobre el suelo [m]: 2
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural): U
- Opción de búsqueda de dirección del viento (si no, especificar ángulo deseado).
Dirección del viento: 45°

Velocidad del Viento [m/s]: 3

Los resultados obtenidos para las concentraciones se representan en la Figura 36.

Luego hicimos lo propio para las concentraciones de COV's para fuentes móviles en el invierno de 2015.

Los valores ingresados para el caso de verano son:

- Tasa de emisión [$g/s \times m^2$]: factor de emisión [g/s] determinado para cada cuadrícula en Figura 1-9 dividido por $4 \times 10^{+06} m^2$.

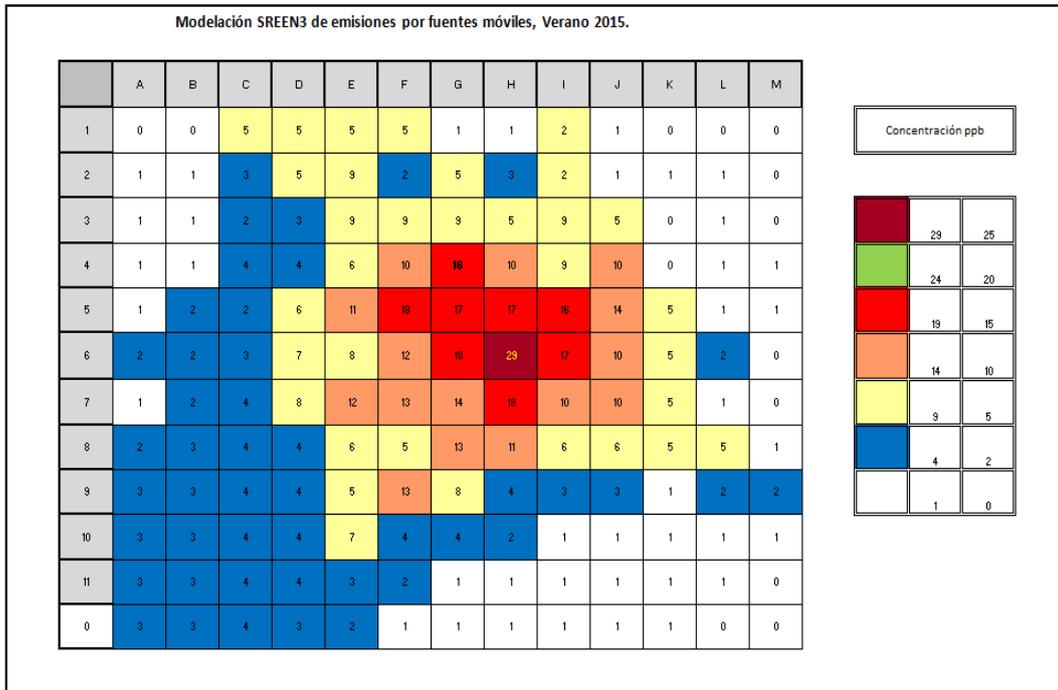


Figura 36: Concentraciones de COV's emitidos por fuentes móviles en la grilla ambiental de la Ciudad de Córdoba, verano 2015.

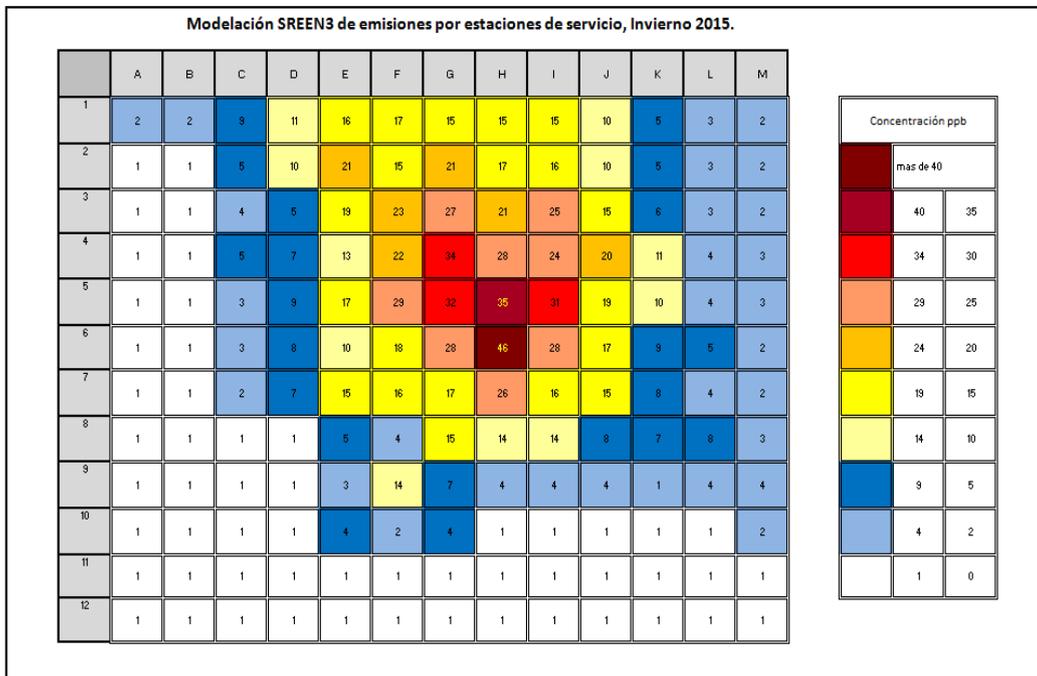


Figura 37: Concentraciones de COV's emitidos por fuentes móviles en la grilla ambiental de la Ciudad de Córdoba, invierno 2015.

- Altura de la fuente de liberación [m]: 1

- Longitud del lado más largo del área rectangular [m]: 2.000
 - Longitud del lado más corto del área rectangular [m]: 2.000
 - Altura del receptor sobre el suelo [m]: 2
 - Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural): U
 - Opción de búsqueda de dirección del viento (si no, especificar ángulo deseado).
Dirección del viento: 90°
- Velocidad del Viento [m/s]: 2

Los resultados obtenidos para las concentraciones se representan en la Figura 37.

3.3.- SISTEMA DE MONITOREO DE COV's.

3.3.1.- Monitor de COV's con procedimiento homologado por U.S.EPA.

En las Figuras 38, 39 y 40 mostramos el valor medido de COV's para cada hora medida en el año, en el verano y en el invierno de 2015.

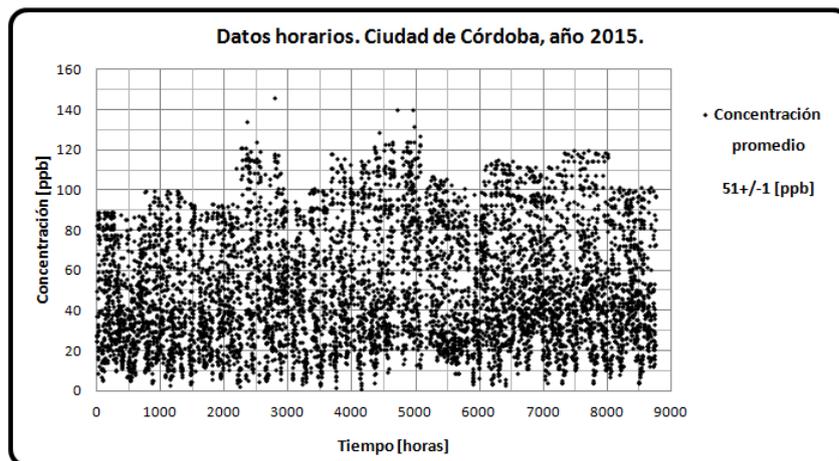


Figura 38: Datos horarios de concentración de COV's en Ciudad de Córdoba, año 2015.

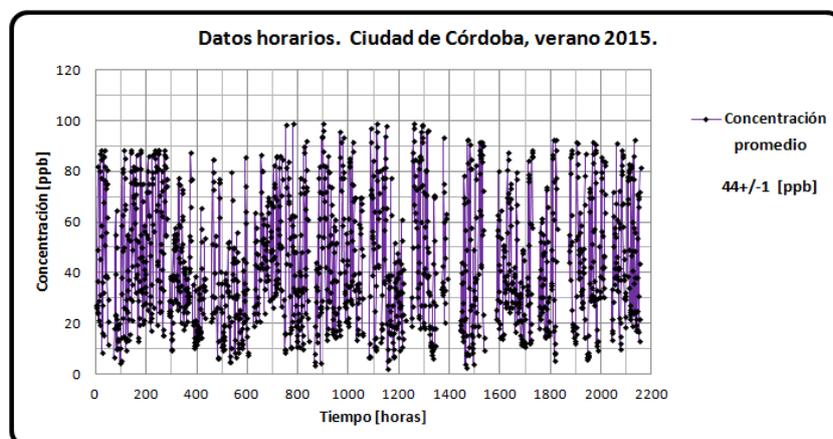


Figura 39: Datos horarios de concentración de COV's en Ciudad de Córdoba, verano 2015.

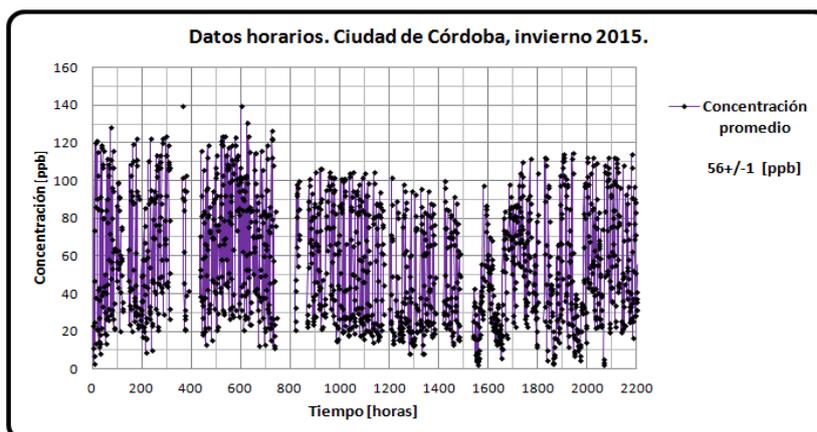


Figura 40: Datos horarios de concentración de COV's en Ciudad de Córdoba, invierno 2015.

A los fines de determinar el comportamiento cualitativo a lo largo del día, calculamos el promedio horario, que surge de promediar el valor cada hora de todos los días medidos del año 2015, a así como en el verano y el invierno (ver Fig. 41).

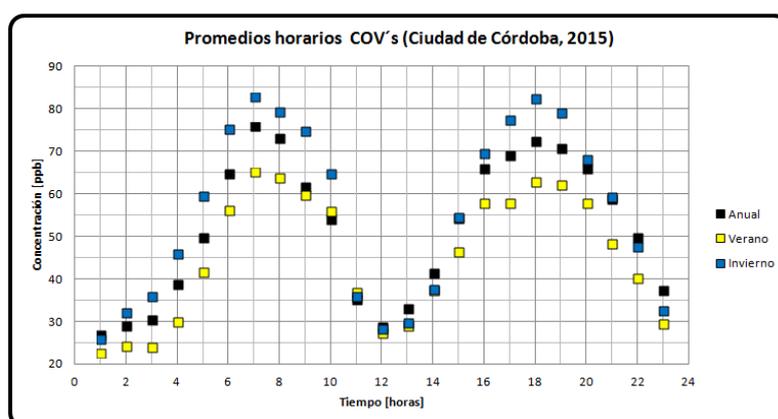


Figura 41: Promedios horarios de concentración de COV's en Ciudad de Córdoba, año 2015.

En la Tabla 27 se representan los valores medios de COV's anual, invierno y verano del año 2015.

	COV's [ppb]
Año 2015	51+/-1
Invierno 2015	56+/-1
Verano 2015	44+/-1

Tabla 27: Valores promedio para concentraciones de COV's.

Utilizamos el software SPSS, realizamos el test t de Student para muestras independientes (verano e invierno), con un porcentaje de error máximo permitido de 1%, a resultados del cual los valores surgen distinguibles con un 99% de intervalo de confianza en la diferencia.

3.3.1.a.- Procedimiento de simulación para el resto del año.

Se realizó una campaña completa en el año 2015, los valores efectivamente medidos con respecto al total de posibles superan el 75% de los días y el 75% de los meses, por lo que el año está medido completamente (ver Tabla 28).

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	
días posibles	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
días medidos	29	24	24	23	24	24	30	25	27	26	27	26	309
Porcentaje	93,5 %	85,7 %	77,4 %	76,7 %	77,4 %	80,0 %	96,8 %	80,6 %	90,0 %	83,9 %	90,0 %	83,9 %	84,7%
días perdidos	-3	-4	-7	-7	-7	-6	-1	-6	-3	-5	-3	-5	15,7%
meses posibles													12
meses medidos													12
Porcentaje													100%
meses perdidos													0%
horas posibles	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760
horas medidas	604	506	514	480	510	500	634	508	572	538	579	560	6505
Porcentaje	81,2 %	75,3 %	69,1 %	66,7 %	68,5 %	69,4 %	85,2 %	68,3 %	79,4 %	72,3 %	80,4 %	75,3 %	74,3%
horas perdidos	140	166	230	240	234	220	110	236	148	206	141	184	25,7%

Tabla 28: Valores de COV's medidos y perdidos a lo largo de 2015.

Durante el desarrollo de las mediciones y debido a la cantidad de horas que se perdían procesos de limpieza, acondicionamiento y calibración del equipamiento, fuimos adecuados los modelos para predecir COV's presentes en la atmósfera de la Ciudad de Córdoba con el uso de redes neuronales teniendo en cuenta como datos de entrada solamente las variables meteorológicas, estacionales y algún período de datos medidos. La capacidad de predicción proporcionada por esta herramienta resulta de utilidad porque permite generar información de una manera mucho más accesible.

Solo a modo de ejemplo en las Figura 42 y 43 se muestran los valores medidos y las predicciones de COV's a lo largo de toda una semana el mes de enero y de julio del año 2015. Estos datos no fueron utilizados debido a que el volumen de datos medidos nos permitió completar el año.

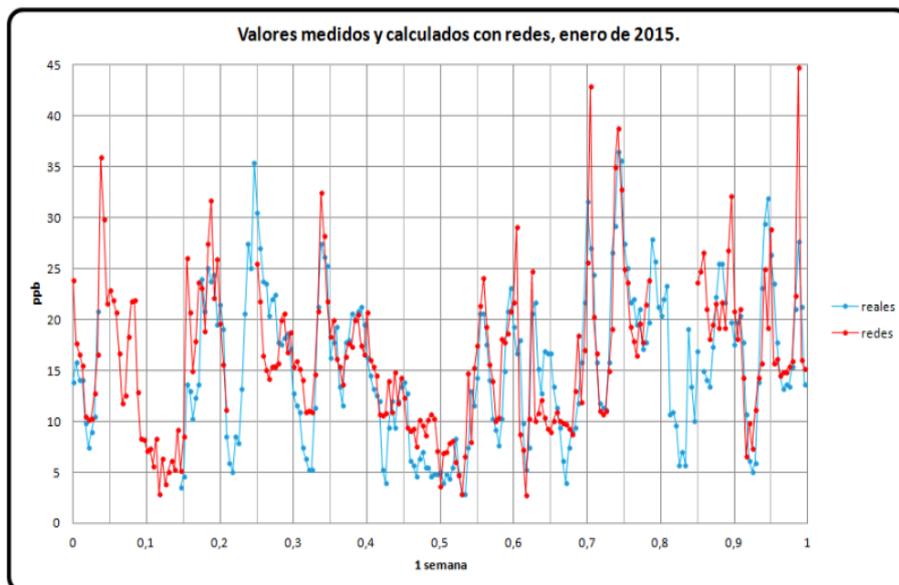


Figura 42: En la gráfica se puede observar el comportamiento de las mediciones y de las predicciones para una semana veraniega de 2015.

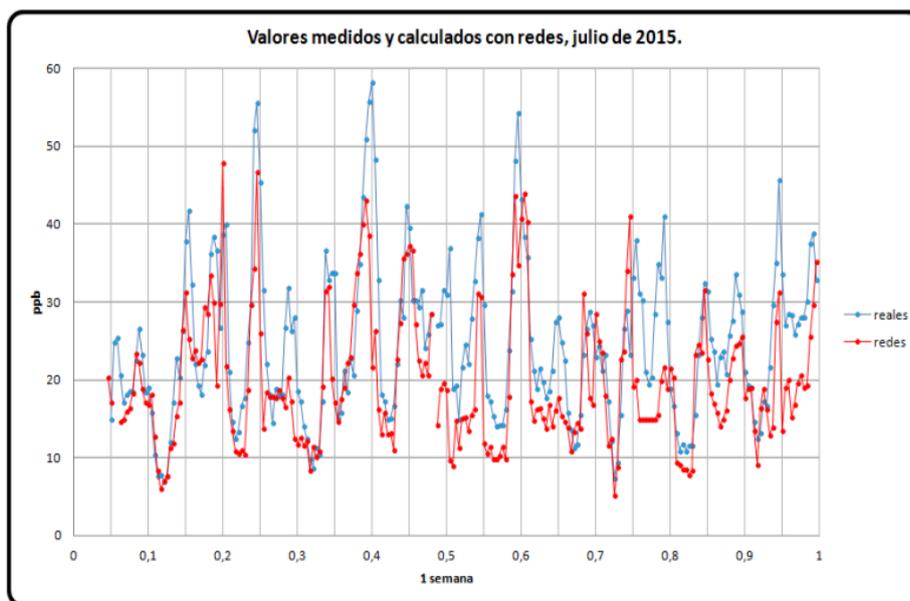


Figura 43: En la gráfica se puede observar el comportamiento de las mediciones y de las predicciones para una semana invernal de 2015.

3.4.- ESTIMACIÓN DE RIESGO PARA LA SALUD.

La presentación de estos resultados lo haremos siguiendo el siguiente orden:

- Tiempo de permanencia en microcentro de la población transeúnte.
- Estimación de porcentaje de Benceno en COV's totales.
 1. Determinación de BTEX en muestra de nafta conformada.
 2. Últimas mediciones Ciudad de Córdoba.

3. Búsqueda bibliográfica.

- Datos Demográficos de la Ciudad de Córdoba.
- Datos bibliográfico indexados de Benceno en Ciudades del mundo.
- Riesgo adicional de contraer cáncer y otras enfermedades.

3.4.1.- Tiempo de permanencia en microcentro de la población transeúnte.

Los datos de la Tabla 29 son los obtenidos de las 440 encuestas realizadas entre el 7 y el 12 de septiembre de 2015. Desde el lunes al viernes hicimos las encuestas en doble turno para el recorrido 1 (Humberto Primo-Sarmiento, Catamarca-La Rioja entre Maipú y Figueroa Alcorta), día sábado, solamente en el turno mañana, el resto de los recorridos se tabulan en anexos.

	Turno	Promedio N° de días	Error	Promedio N° de horas	Error
LUNES	Mañana	5,3	0,3	7,4	0,6
	Tarde	4,8	0,3	6,6	0,6
MARTES	Mañana	5,4	0,3	6,1	0,6
	Tarde	4,4	0,3	5,8	0,5
MIÉRCOLES	Mañana	3,9	0,3	6,3	0,5
	Tarde	4,2	0,3	7,5	0,5
JUEVES	Mañana	4,3	0,3	5,6	0,6
	Tarde	3,2	0,3	7,1	0,5
VIERNES	Mañana	3,8	0,3	6,8	0,5
	Tarde	3,2	0,2	6,9	0,3
SÁBADO	Mañana	3,4	0,3	6,4	0,5

Tabla 29: recorrido 1 (Humberto Primo-Sarmiento, Catamarca-La Rioja entre Maipú y F. Alcorta)

A los valores obtenidos para cada uno de los recorridos, turnos y días de la semana, les realizamos el test t de Student utilizando el software SPSS, para muestras independientes, con un porcentaje de error máximo permitido de 5%, a resultas del cual los valores surgen indistinguibles con un 95% de intervalo de confianza en la diferencia. Debido a que los datos son indistinguibles optamos por procesar los 13 recorridos para todos los días y turno como un solo conjunto de datos. En la Tabla 30 mostramos los valores obtenidos.

Encuestas	N° de días	N° de horas
5720	4,1±0,1	6,9±0,1

Tabla 30. Número de días y horas resultantes de las 5720 encuestas.

El tiempo de permanencia en el centro de la ciudad es de 28 ± 2 horas semanales de exposición o 1400 ± 100 horas de exposición anual.

3.4.2.- Estimación de porcentaje de Benceno en COV's totales.

Un tema de intenso estudio, por su variabilidad a nivel mundial es el de la relación BTEX/COV's en el aire urbano, aunque en Latinoamérica a este valor se lo considera entre 15% y 20% del total de HC no metano.

Para llegar a los valores de los porcentos de Benceno, Tolueno, Xilenos o Etilbenceno del total de BTEX recurrimos a tres alternativas posibles:

1. Determinación de BTEX en muestra de nafta conformada.
2. Últimas mediciones Ciudad de Córdoba.
3. Revisión bibliográfica.

3.4.2.a.- Determinación de BTEX en muestra de nafta conformada.

Se procedió a la compra y recolección de las naftas de distintas marcas y tipos. Se realizó el fraccionamiento que llevó a la construcción de un litro patrón de nafta conformada.

El litro de nafta super conformado de acuerdo a los resultados expresados en Figura 20 constituido por 300 cm³ de marca ESSO, 100 cm³ de Petrobras, 220 cm³ de Shell, 40 cm³ de Blanca y 340 cm³ de YPF.

El litro de nafta Premium conformado de acuerdo a los resultados expresados en Figura 21 constituido por 210 cm³ de marca ESSO, 90 cm³ de Petrobras, 220 cm³ de Shell, 30 cm³ de Blanca, 80 cm³ de Oil y 370 cm³ de YPF.

El litro de nafta tipo conformado, del que tomamos la muestra para analizar en CEPROCOR, de acuerdo a los resultados expresados en Figura 19 constituido por 290 cm³ de tipo Premium y 710 cm³ Súper.

Los valores informados en anexo por CEPROCOR son los expresados en Tabla 31:

Benceno/COV's	3,32%
Tolueno/COV's	12,95%
Xilenos/COV's	21,36%

Tabla 31: Resultados composición de muestra conformada de nafta, GC - CEPROCOR año 2017.

El valor anual de concentración de COV's en la Ciudad de Córdoba para el año 2015 es de **51 ± 1ppb**. Si la única fuente emisora de BTEX fuesen las estaciones de servicio las concentraciones de Benceno, Tolueno y Xileno serían las expresadas en Tabla 32.

	ppb
Benceno	1,7
Tolueno	6,6
Etilbenceno	
Xilenos	10,9

Tabla 32: Concentraciones de BTEX en el supuesto de concentraciones relativas determinado a partir de nafta conformada.

3.4.2.b.- Últimas mediciones Ciudad de Córdoba.

En el libro de la Editorial Universitaria UNC, "Metodología de diagnóstico y pronóstico de contaminación atmosférica en ecosistemas urbanos" se expresan los últimos resultados correspondientes a monitoreos sistemáticos en la Ciudad de Córdoba por parte del Observatorio Ambiental. Los datos originales están expresados en partes por billón de Carbono (ppbC) por lo que los convertimos en partes por billón del volumen (U.S.EPA, 2001). Los valores de las relaciones de concentraciones se encuentran en la Tabla 33.

	Mínimo	Máximo
*T/B	1,6	1,7
*E/B	0,4	
*X/B	1,6	1,7

Tabla 33: Relación de concentraciones de BTEX en aire urbano de la Ciudad de Córdoba año 1998.

De acuerdo a estas relaciones y aplicando las ecuaciones 2 a 6 encontramos los porcentajes de la Tabla 34.

	Mínimo [%]	Máximo [%]
Benceno	3,2	4,5
Tolueno	4,9	7,6
Etilbenceno	1,1	1,7
Xilenos	4,9	7,6

Tabla 34: Porcentajes de concentraciones de BTEX en los COV's en aire urbano de la Ciudad de Córdoba año 1998.

Aunque la situación en cuanto a la densidad de tránsito ha cambiado, el entorno socioeconómico del centro de la Ciudad de Córdoba no ha cambiado sustancialmente, por lo que tomas estos porcentajes como los existentes en 2015 es una aproximación posible. La Tabla 35 refleja las concentraciones posibles para cada contaminante en 2015.

	Mínimo [ppb]	Máximo [ppb]
Benceno	1,6	2,3
Tolueno	2,5	3,9
Etilbenceno	0,7	0,9
Xilenos	2,5	3,9

Tabla 35: Concentraciones de Benceno, Tolueno, Xileno y Etilbenceno en aire urbano de la Ciudad de Córdoba año 2015.

3.4.2.c.- Revisión bibliográfica.

Luego de una extensa revisión bibliográfica (Na y Kim, 2002), (Doskey, et al, 2002), (Chan, et al, 2002), (Singer et al, 1999), (Mugica et al, 1997),. (Mugica et al, 2003), (Gee y Sollars et al, 1998), (Zielinska et al, 1996), (Kenski, et al, 1995), (Scheff y Waden, 1993), (Sweet y Vertmette , 1992), (Watson, et al, 2001), (Mendoza–Domínguez et al, 2010), (Colman et al, 2011), (Baeza Caracena et al, 2001), (Arriaga-Colina y Seila, 1992), (Arriaga-Colina y Seila, 1993), (Ruiz et al, 1996), (Arriaga-Colina et al, 2004), (INE - Tula-Vito-Apaxco. 2008), (Espinosa Rubio, 2008), (Bravo et al, 2002), (Fuselli et al, 2010), (Gallego et al, 2008), (Lee et al, 2002), (Pyta, 2006), (Rubiano Hernández, 2013) se llegan a los valores máximos y mínimos de relaciones de concentración entre Tolueno, Benceno, Etilbenceno y Xilenos que se indican en la Tabla 36.

	mínimo	máximo
*T/B	1,75	5,2
*E/B	0,3	0,6
*X/B	1,1	4,8

Tabla 36: Relación de concentraciones de BTEX desde la revisión bibliográfica indexada.

De acuerdo a estas relaciones y aplicando las ecuaciones 2 a 6 encontramos los porcentajes de la Tabla 37.

	Mínimo [%]	Máximo [%]
Benceno	0,7	4,5
Tolueno	1,2	12,8
Etilbenceno	0,7	11,8
Xilenos	0,2	1,5

Tabla 37: Porcentajes de concentraciones de BTEX en los COV's en aire urbano que surgen de la revisión bibliográfica.

La revisión bibliográfica extensa de distintas ciudades del mundo nos llevó a valores de porcentajes máximos y mínimos que se corresponden a ciudades con mayor o menor similitud a la Ciudad de Córdoba, por lo que se toman estos porcentajes como los límites superior e inferior de la contaminación por BTEX existente en 2015 en la Ciudad de Córdoba es una aproximación posible y aceptable. La Tabla 38 refleja las concentraciones posibles para cada contaminante en 2015.

	Mínimo [ppb]	Máximo [ppb]
Benceno	0,7	2,5
Tolueno	1,2	12,8
Etilbenceno	0,2	1,5
Xilenos	0,7	11,8

Tabla 38: Concentraciones de Benceno, Tolueno, Xileno y Etilbenceno en aire urbano de la Ciudad de Córdoba año 2015.

3.4.3.- Datos Demográficos de la Ciudad de Córdoba.

Los datos demográficos de la Ciudad de Córdoba revisten especial importancia a la hora de discutir el fenómeno de contaminación atmosférica por COV's y cuando estimamos los riesgos de la población por exposición a los mismos. Los datos los proveen los censos realizados por el INDEC en 2001 y 2010.

En la Tabla 39 y en la Figura 44 se representan los datos censales de la Ciudad de Córdoba desde su fundación en 1573 hasta el año 2010.

Año	Población
1573	111
1810	9080
1822	11552
1869	34458
1895	54763
1914	134935
1947	386828
1960	589153
1970	801071
1980	993055
1991	1179372
2001	1284582
2008	1309536
2010	1329604

Tabla 39: Población de la Ciudad de Córdoba 1573 -2010.

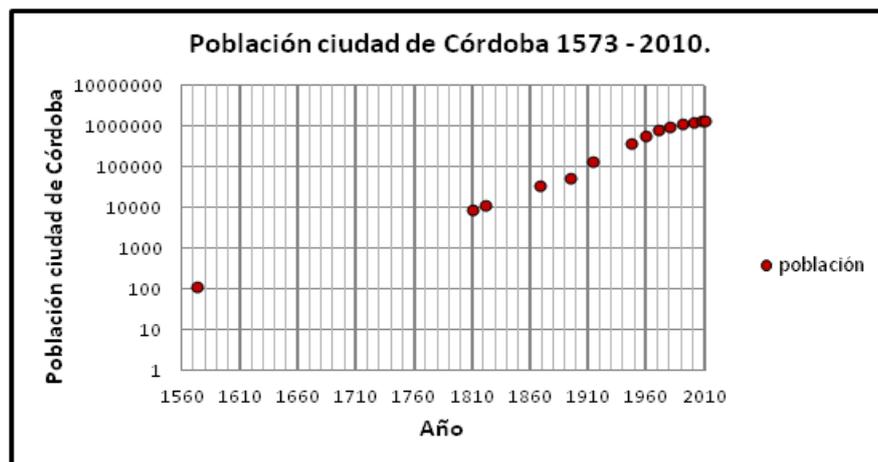


Figura 44: Población de la Ciudad de Córdoba 1573 -2010.

Es muy importante saber la composición de la población por grupos etarios, solo disponemos de esta información para el censo 2001. A partir de esta información sacamos los porcentajes del total por grupo etario y por sexo y luego aplicamos esos porcentajes a las proyecciones de población para 2015 (Figura 45). Dos grupos etarios nos interesan especialmente, los menores de 18 años que no pueden conducir vehículos automotores, al

igual que los adultos mayores a 75 años, que si bien no están vedados por la ley para obtenerlos en la práctica los exámenes psicofísicos y los tiempos de vencimiento del carnet desalienta a las personas de este grupo a manejar vehículos.

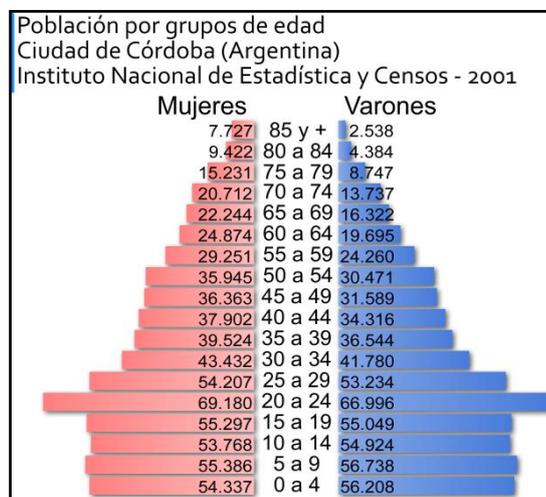


Figura 45: Población de la Ciudad de Córdoba por edad y sexo (Censo 2001).

De acuerdo a los datos provistos por INDEC, las personas con menos de 18 años representan el 33% de la población y las mayores de 75 el 4%.

La poblacional proyectado a 2015 es de 1.355.000 habitantes.

La población menor a 18 y mayor a 75 años es de 493.400 personas. Tenemos entonces que están en condiciones de manejar un vehículo automotor 862.000 personas. Un dato muy interesante es que si tomamos el año 1998 en que se tomaron las últimas mediciones de COV's y 2015 donde se realizaron las actuales, nos encontramos con que la población creció aproximadamente en 70.000 personas (de las cuales pueden conducir 40.000), mientras que en igual período la flota vehicular aumento en 322.000 vehículos.

3.4.4.- Datos bibliográficos indexados de Benceno en 65 ciudades del mundo.

A partir de la bibliografía obtuvimos datos de 65 ciudades de diversos países, con los que elaboramos la Tabla 40. Esta tabla contiene valores para Benceno expresados en ppb. El 70% de las ciudades de las ciudades datadas superan los valores internacionales (1,57ppb).

Ciudad	País	Benceno	Referencia
Córdoba	Argentina	1,6 - 2,3	Mediciones propias
Mumbai	India	4,21 - 12,12	(Mohan <i>et al.</i> , 1997)
Hannover	Alemania	3,01	(Ilgen <i>et al.</i> , 2001)
China	China	4,84 - 21,13	(Wang <i>et al.</i> , 2002)
Hong Kong	Hong Kong	0,86 - 4,74	(Lee <i>et al.</i> , 2002)
Ciudad de México – Zona Metropolitana	México	1,66	(Bravo <i>et al.</i> , 2002)

Kaohsiung	Taiwan	3,44	(Lai <i>et al.</i> , 2004)
Taiwan	Taiwan	4,17	
Delhi	India	7,00	(Srivastava <i>et al.</i> , 2005).
Zabrze	Polonia Ago-sept 2001 y Ago-sept 2005	0,09 - 45,66	(Pyta, 2006.)
Zabrze		0,09 - 35,70	
Barcelona Rural	España	0,06 - 2,61	(Gallego <i>et al.</i> , 2008)
Barcelona Urbano	España	0,16 - 3,89	
Nápoles área Metropolitana	Italia	1,38 - 5,40	(Iovino, <i>et al.</i> , 2009)
Nápoles cerca área suburbana		1,13 - 3,71	
Nápoles lejos área suburbana		0,72 - 4,02	
Hyderabad	India	37,68 - 54,32	(Rekhadevi <i>et al.</i> , 2010)
Kolkata	India	4,33 - 22,61	(Makumdar <i>et al.</i> , 2011)
Agra	India	4,62	(Singla <i>et al.</i> , 2012)
Medellín	Colombia ago 2006 – ago 2007.	2,45	(AMVA, 2008)
Medellín	Colombia sep 2011 – may 2012	2,26	(AMVA, 2012)
Medellín (Éxito San Antonio)		2,54	
Beihai	China	0,82	(Barletta <i>et al.</i> , 2005)
Beijing		5,90	
Bengbu		1,10	
Changchun		2,92	
Changde		3,39	
Changsha		5,31	
Chongqing		7,00	
Guilin		1,00	
Guiyang		10,42	
Hangzhou		2,42	
Hefei		4,90	
Ji'an		1,41	
Jinan		2,29	
Jingdezhen		1,10	
Jining		2,29	
Jiujiang		1,10	
Kunming		3,71	
Langfang		4,71	
Lanzhou		0,31	
Linchuan		2,51	
Nanchang		2,20	
Nanyang		2,01	
Qingdao		1,41	
Qinghuangdao		0,82	
Qiyang		0,82	
Shanghai		1,19	
Shaoyang		0,91	
Shijiazhuang		4,62	
Shishou		1,00	
Suizhou		4,02	
Taihu (Wuxi)	2,29		
Taiyuan	3,71		
Tangshan	2,01		
Weinan	1,41		
Wenzhou	2,61		
Wuhan	2,70		

Xiantao		2,10	
Xinyang		1,29	
Xuchang		2,10	
Yinchuan		0,69	
Zhangjiajie		0,82	
Zhengzhou		1,79	
Zoucheng		0,91	

Figura 40: Concentración de Benceno en 65 ciudades del planeta.

3.4.5.- Riesgo adicional de contraer cáncer y otras enfermedades.

3.4.5.a.- Riesgo de contraer enfermedades por exposición a Tolueno y Xileno ambiental.

De acuerdo a los valores establecidos en las Tablas 10 y 11 para efectos de Tolueno y Xileno ambiental, sus efectos comienzan a verificarse a las 50 y 30 ppm de concentración en aire, respectivamente. Los valores medidos para aire ambiente para estos compuestos son tres órdenes de magnitud inferiores a los necesarios para causar efectos sobre la salud de las personas. En las estaciones de servicio no se pudieron realizar mediciones ya que por no ser espacio público no se logró acceso. Si tomamos en cuenta los valores estimados como límites olfativos o de detección de olor se evidencia que son de decenas de ppm y que los expuestos están expuestos 8 horas diarias 5 días a la semana a concentraciones que se encuentran entre 3 y 4 órdenes de magnitud sobre lo medido en calles.

Las estimaciones utilizando SCREEN3 a partir de fuente de área de 10x10m considerando que la emisión en g/s por estación son uniformes las 24 horas del día y los 365 días del año nos entregan valores de 20 ppm aproximadamente.

3.4.5.b.- Riesgo adicional de contraer cáncer por exposición al Benceno.

El riesgo adicional de contraer leucemia mieloide aguda es de 6 enfermos por cada millón de personas expuestas a 0,31 ppb de Benceno, que se representa en la Tabla 41 y en la Figura 46.

Concentración [ppb]	Riesgo [leucemia mieloide cada millón de personas expuestas de por vida]
0,0533	1
0,533	10
5,33	100

Tabla 41: Riesgo aumentado de contraer leucemia mieloide aguda por cada millón de habitantes vs. concentraciones de Benceno.

Debido a que las concentraciones de Benceno oscilan entre un mínimo de 1,6 ppb y un máximo de 2,3 ppb, tenemos el riesgo de contraer leucemia mieloide aguda debido a una exposición de por vida se encuentra entre 31 y 45 enfermos por cada millón de personas.

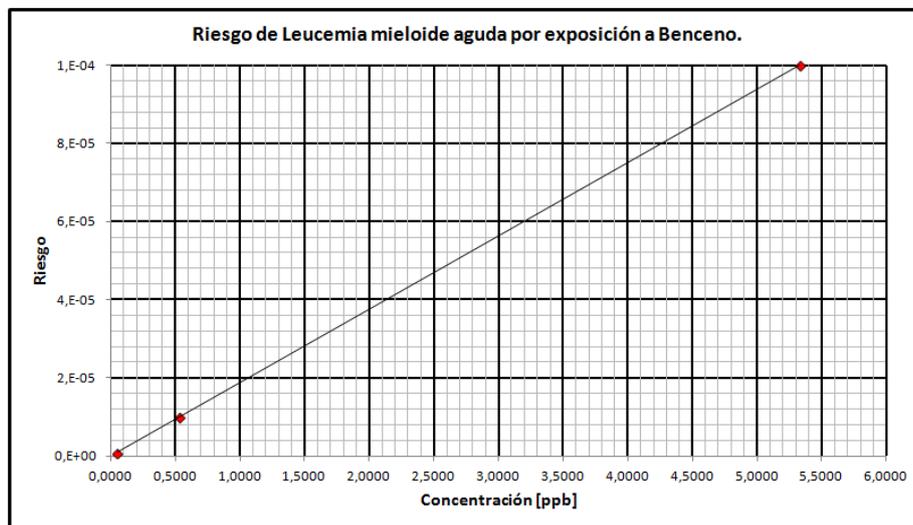


Figura 46: Riesgo aumentado de contraer leucemia mieloide aguda por cada millón de habitantes vs. concentraciones de Benceno.

De acuerdo a nuestro estudio los transeúntes del centro de la ciudad están 1400 horas anuales, es decir el 16% de su tiempo.

Por ende dentro del grupo en estudio tenemos entre 5 y 8 personas cada millón con serios riesgos de enfermar.

DISCUSIÓN

1.- La Ciudad de Córdoba inauguró su Observatorio Ambiental Municipal el 22 de abril de 1997. Los objetivos de la institución con respecto a la problemática atmosférica eran muy concretos.

- a. Elaborar el primer Inventario de Emisiones de gases contaminantes de la atmósfera de la ciudad. Se partió de un principio de mejora continua de la calidad de los datos y de la continuidad en el tiempo de la institución.
- b. Crear un grupo de Modelación de Contaminantes Atmosféricos, partiendo del uso de los softwares más simples (aquellos que solo exigen datos de inventario de emisiones y variables meteorológicas básicas), para luego ir hacia una complejidad que involucre más variables que describan la realidad local.
- c. Realizar un monitoreo continuo y *on-line* de contaminantes criterio (PM₁₀, NO₂, SO₂, CO y O₃) tendiente a establecer un sistema de alertas tempranas.
- d. Realizar programas puntuales de monitoreo de gases contaminantes (COV's, PAH, etc) en función de los datos que aporten los Inventarios y Modelados.

El Observatorio cumplió con sus objetivos de manera sistemática hasta el año 2000, luego se reconviniere sus objetivos y comenzó a realizar tareas relacionadas al control directo.

Debido a esta situación, la Ciudad de Córdoba no cuenta hoy con Inventarios de Emisiones de contaminantes atmosféricos actualizados, no existe un área de Modelación Matemática y tampoco un Sistema de Monitoreo de Calidad de Aire.

2.- Para este trabajo se tuvo que recomenzar las tareas tal como habían quedado en 1999. Esto hizo que a la hora de hacer el Inventario de Emisiones de COV's debiéramos recurrir a la más básica e inexacta de las técnicas de cálculo, la extrapolación. Los Inventarios son realizados por grupos multidisciplinarios de investigación y gran parte de los datos que aportarían precisión al resultado se obtienen por vía oficial.

3.- Aún con esta limitante pudimos obtener información cuantitativa de la distribución espacial y temporal de las emisiones de COV's y de la importancia relativa de las fuentes principales.

4.- La Grilla Ambiental en la que se divide la Ciudad de Córdoba en barrios ambientales desde hace 20 años es un instrumento de gran valor.

5.- La existencia de inventarios de emisiones actualizados es la base para estudios científicos precisos y para fijar políticas eficaces y eficientes.

4.1.- INVENTARIO DE EMISIONES DE COV's POR ESTACIONES DE SERVICIO.

1.- Con la información suministradas por el Ministerio de Energía de la República Argentina se pudo determinar de manera exacta la distribución de las estaciones de servicio y su volumen de venta y fijar cada punto en la grilla utilizando Google Earth. Con esta información pudimos estimar los factores de emisión promedio de COV's por celda ambiental.

2.- Teníamos la posibilidad de considerar cómo válido el valor de norma IRAM-IAP A 6560 para Benceno en naftas, pero tomamos la decisión de determinar las concentraciones de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos para las muestras que se expiden las estaciones de servicio.

3.- Para realizar esta determinación se tomó una muestra de un litro de nafta conformada de acuerdo a los porcentajes determinados en el trabajo.

De cada litro de nafta conformada, 290 cm³ son de más las que llamamos premium y 710 cm³ de naftas que llamamos súper.

La nafta premium conformada por marcas está compuesta por 21% de ESSO, 9% Petrobras, 22% Shell, 37% YPF y 11% Blanca (incluimos aquí la Oil ya que actualmente no hay estaciones de esta marca). Los 290 cm³ de premium se componen de 107 cm³ de YPF, 64 cm³ de Shell, 26 cm³ de Petrobras, 61 cm³ de ESSO y 32 cm³ de Blanca.

La nafta súper conformada por marcas está compuesta por 30% de ESSO, 10% Petrobras, 22% Shell, 34% YPF y 4% Blanca. Los 710 cm³ de premium se componen de 241 cm³ de YPF, 213 cm³ de Shell, 71 cm³ de Petrobras, 156 cm³ de ESSO y 28 cm³ de Blanca.

4.- La muestra de nafta conformada se analiza en CEPROCOR y se obtiene un valor que supera ampliamente la norma. Se mide 3,32% de Benceno cuando el máximo permitido por norma IRAM-IAP A 6560 o ASTM D 3606 es de 1%.

5.- Para el cálculo de las emisiones en la grilla se contaron las estaciones de servicio por cuadrícula y a cada una se le asignó un valor promedio de pérdida por estación de servicio. Se utilizó el porcentaje de pérdida para la Ciudad de Córdoba de 0,22% del total vendido en la ciudad 986.546 m³ y a este valor se lo dividió por 116 (número de estaciones de servicio en 2015). El valor obtenido es 18,7 m³ por estación, que a los fines de la modelación posterior se consideró el valor de 20 m³ por estación. El valor total de la pérdida es de 2200 m³.

6.- Repetimos el cálculo anterior utilizando:

a.- Los factores de emisión de AP-42 correspondiente a la recarga de 1.000.000 m³ de nafta en tanques por carga sumergida (FE=1,353 kg/tonelada) y expendio por medio de sistemas abiertos no controlados (FE=1,894 kg/tonelada).

b.- La densidad media de la nafta de 0,68 toneladas/m³.

Obtenemos que el valor de la pérdida es de 3200 m³. Si bien este valor es un 45% mayor al cálculo realizado en la Ciudad de Córdoba en 2000, optamos por el valor menor por considerar el estudio realizado en la Ciudad de Córdoba (Evequoz O., *et. al.*, 2000) se corresponde a condiciones locales relevadas oportunamente, mientras que el AP-42 implica una generalización para EE.UU.

7.- El valor de emisiones máximo se da en la cuadrícula G5, ubicada al noreste de la cuadrícula del microcentro (H6), su valor, al ser comparado con las emisiones de fuentes móviles en igual cuadrícula es del 15% del total emitido y, calculado contra la cuadrícula de mayor emisión de móviles (H6), es del 4%. Es de esperar entonces, que los resultados de las emisiones vehiculares dominen el comportamiento de las mediciones *in situ* en la zona más contaminada de la ciudad.

8.- A los fines de plantear una normativa para establecer sistemas de recuperación de vapores, se puede pensar que la recuperación de 2000 m³ de naftas, representan 50.000.000 de pesos al año. Si las empresas contasen con créditos blandos para la inversión en tecnología ambiental, podrían pagarlo con el ahorro generado por no contaminar.

4.2.- INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES MÓVILES.

1.- La flota vehicular de automóviles circulante en la Ciudad de Córdoba creció en un 143% entre 1999 y 2014, pasando de 224.449 a 546.546 vehículos. Se sumaron entonces 322.097 unidades.

2.- En cuanto a las motocicletas, no existe información específica para la Ciudad de Córdoba, solo totales nacionales referidos a 2009 y 2016. Si hacemos una proyección siguiendo el patrón general de vehículos, encontramos que las motocicletas pasaron de 125.000 a 250.000 en igual período.

3.- En 2009 teníamos 310.000 automóviles, en 2014 teníamos 550.000. El total (motocicletas y automotores) aproximado pasó de 435.000 unidades en 2009 y 810.000 en 2014, lo que nos da un crecimiento de 186%.

4.- De acuerdo a nuestras mediciones el 29% de los vehículos que ingresan a las estaciones de servicio son motocicletas. Este valor coincide con los que obtenemos del procesamiento de los datos informados por el Observatorio Nacional de Seguridad Vial, 250.000 motocicletas representan el 30% la flota vehicular.

5.- Un dato a tener en cuenta, de acuerdo a las mediciones es que de los aproximadamente 550.000 automotores que ingresan a las estaciones (no se contaron motocicletas, pues el 100% utiliza naftas) 225.000 utilizan naftas como único combustible y 99.000 utilizan alternativamente GNC o naftas. Debido a que el inventario de emisiones se basa en la extrapolación del Inventario de 1999 realizado por el Observatorio Ambiental de la Ciudad de Córdoba, y ante la ausencia de información precisa de uso de tipos de combustibles en la flota vehicular de 1999, asumiremos que los mismos valores que rigieron la flota en ese año son los que nos rigen ahora.

6.- Los 14 años promedio de antigüedad de la flota vehicular nos dicen que el grueso de los vehículos automotores (se excluyen motocicletas) utiliza convertidor catalítico. La inexistencia de una norma que rija la obligatoriedad del uso y de un programa de mantenimiento hace que debamos asumir, alguna opción aproximada frente a la contaminación. Consideramos que la mitad de la flota tiene convertidores catalíticos de triple vía no controlado y la otra mitad convertidores catalíticos de triple vía controlado.

7.- Consideramos que la flota de automóviles que usan naftas como combustible es de 250.000 vehículos, que tienen una cilindrada promedio entre 1400 y 2000 cm³, que 125.000 usan convertidores catalíticos de tres vías no controlados y los otros 125.000 usan convertidores catalíticos de tres vías controlados. No se consideran los menores y mayores a esas cilindradas, el factor de emisión es 5,83 kg/tonelada de combustible.

8.- Las 250.000 motocicletas tienen motores mayores a 50 cm³ y no utilizan convertidor catalítico, por lo que el factor de emisión es 80kg/tonelada de combustible.

9.- Debido a que las motocicletas consumen la mitad del combustible por kilómetro con respecto al automóvil y que el número de motocicletas y el de automóviles es el mismo, tenemos que las 2/3 partes de naftas la consumen los autos y 1/3 restante las motocicletas. Es decir 666.000 m³ y 333.000 m³. Con la densidad media del combustible en 0,68 tonelada/m³ y los factores de emisión citados *ut supra*, tenemos que las emisiones son de 30.500 toneladas por año.

10.- Como prueba de coherencia calculo se estimó a partir de las ventas de naftas para automóviles y motocicletas en zona urbana y de su consumo promedio por kilómetro

recorrido (8 y 15 km respectivamente), el kilometraje anual recorrido por vehículo. El valor obtenido es de 20.000 km. Lo que coincide con la bibliografía y con los relevamientos realizados.

11.- La razón de las emisiones en flota vehicular y estaciones de servicio es de 14 a favor de las fuentes móviles.

12.- El inventario de emisiones realizado por el Observatorio Ambiental en 1999, utilizó el programa MOBILE. Se caracterizó la flota vehicular por modelo, tipo y combustible, los tipos calles de acuerdo a la capacidad de circulación y la velocidad media de la misma, también se fijó el patrón de manejo promedio del conductor en la ciudad.

13.- Debido a que el programa se discontinuó y no existen datos posteriores, nos vimos forzados a realizar una extrapolación basada en el único dato conocido, el crecimiento de la flota. Esta técnica es válida dentro de un inventario de emisiones, aunque es la que mayores errores acarrea.

14.- Los ciudadanos más expuestos son la población transeúnte y permanente de la cuadrícula H6.

4.3.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE COV's.

1.- Los modelos de dispersión atmosférica son herramientas informáticas que permiten obtener proyecciones de la dispersión de un contaminante en el ambiente, a partir de los datos obtenidos en el muestreo pertinente. Por ende, la exactitud de la proyección dependerá de cómo se hayan tomado los datos y el correcto ingreso de los mismos al programa de modelación. En nuestro caso no existe tal muestreo, nuestro dato es la estimación de emisión realizada en un inventario de emisiones.

2.- A los fines del ingreso de datos se consideran que las entidades emisoras son las cuadrículas ambientales de 2x2 km. Se trata, entonces de fuentes de área con emisión homogénea en su interior.

3.- Existen gran variedad de modelos, adecuados a las diferentes condiciones del ambiente, características del contaminante y la fuente emisora, entre otras particularidades; es decir, el mismo modelo no es siempre apropiado para todos los ambientes y/o contaminantes.

4.- Para dispersión de contaminantes provenientes de fuentes de área en ciudades el SCREEN3 y el ISC3, ambos desarrollados por la U.S.EPA son los más habituales.

5.- En la ciudad de Córdoba no se efectúan mediciones de contaminación atmosférica, por lo que en esta parte del trabajo se estiman las emisiones y la contaminación producida.

6.- Si el inventario arroja ausencia de contaminantes, no se pasa a la siguientes etapa, en cambio, si el estudio arroja resultados positivos, se procede a la modelación, si esta continúa con situaciones de contaminación preocupantes, se pasa al monitoreo del sector más contaminado, para determinar con mayor exactitud la presencia y cantidad de contaminantes. Es decir, debido a que estos datos, son estimativos, se procede a hacer un monitoreo tendiente a intensificar los estudios en los sectores más comprometidos de acuerdo al modelado.

7.- El modelo de dispersión atmosférica SREEN3 es una excelente herramienta para la evaluación ambiental en la calidad de aire, generado por fuentes de área. Sólo necesita como datos de ingreso la estimación de emisiones por unidad de tiempo y unidad de área, para cada cuadrícula ambiental y las variables meteorológicas básicas.

8.- De acuerdo a los resultados de la modelación la cuadrícula más contaminada es la H6. El microcentro es entonces la zona donde población transeúnte y permanente de la Ciudad de Córdoba sufre mayor exposición al contaminante.

9.- Los datos meteorológicos aportados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) desde 1873 a la fecha, están tabulados por década y nos brindan información de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, dirección y velocidad del viento, presión atmosférica, humedad relativa ambiente y pluviosidad.

10.- Los datos aportados por las estaciones automáticas propias no están oficialmente homologadas por el SMN, por lo que se obtiene la información correspondiente a los años 2014 y 2015 y se los compara con el SMN. Los datos son absolutamente compatibles.

11.- Nuestras estaciones, producen datos instantáneos y *on-line* lo que nos permite dar un salto en cuanto a las posibilidades de uso de los mismos. Pudimos obtener la roseta de los vientos y las variaciones horarias de los promedios estacionales de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

12.- Las situaciones extremas en cuanto a las condiciones de dispersión se dan en verano e invierno, el primero caracterizado por vientos de 3m/s con dirección preponderante NE-SO y temperatura media de 22,6°C y el segundo con vientos de 2m/s con dirección preponderante S-N y temperatura media de 15,2°C.

13.- El valor de COV's totales máximo, correspondiente al invierno, modelado en H6 es de 50 ppb, de los que las fuentes móviles aportan 46 ppb y los restantes 4 ppb las estaciones de de servicio.

14.- El valor de COV's totales máximo, correspondiente al verano, modelado en H6 es 36 % menor al invierno. De 32 ppb, las fuentes móviles aportan 29 ppb y los restantes 3 ppb las estaciones de de servicio.

15.- Esta predicción nos establece la necesidad de monitorear dicha área, lo que nos lleva al siguiente paso, la elección del equipamiento para la realización de las mediciones.

4.4.- SISTEMA DE MONITOREO DE COV's.

1.- El propósito de nuestro SMA es el monitoreo de COV's en la atmósfera de la Ciudad de Córdoba para investigaciones relacionadas a salud. Para este tipo de investigaciones es necesario que el sitios de monitoreo sea representativo de la región cuya población está bajo estudio.

2.- El equipamiento utilizado para este tipo de investigaciones debe ser tal que ofrezca una resolución temporal pequeña. De esta forma se puede comparar la magnitud medida frente a los estándares en períodos de tiempo cortos, medianos y largos.

3.- La escala espacial de nuestro SMA está en el rango de las intermedias. Elegimos el sitio de tal manera que las concentraciones de contaminantes en un área de 2x2km de la ciudad con uso uniforme del suelo sean representativas del sector.

4.- La ubicación de la toma de muestra respecto de su entorno próximo, es crucial para establecer una estación de monitoreo. El criterio utilizado internacionalmente para la medición de concentraciones moderadas de contaminantes a nivel del suelo, la toma de muestra debe estar ubicada a una distancia entre 15 y 60 metros de la arteria de mayor circulación a una altura entre 3 y 6 metros sobre el suelo.

5.- Un tema crucial a tener en cuenta es la seguridad. Para ello se optó por montar la estación de monitoreo en un balcón de segundo piso de un comercio con alarma, que da en espacio abierto sobre la calle. El equipo se instaló dentro de una caja de electricidad de media tensión, lo que resta curiosidad a la observación.

6.- La logística es el otro tema a tener en cuenta. No solamente la accesibilidad sino la disponibilidad de tiempo y llaves de ingreso para realizar tareas de mantenimiento y calibración rutinarias.

7.- Para realizar el monitoreo se optó por el protocolo de medición U.S.EPA TO14 apéndice B, 1999, y se contó con un monitor portátil de detección de compuestos orgánicos volátiles, marca RAE Systems modelo ppbRAE 3000 con un tiempo de respuesta de 3 segundos, con rango ampliado en su detector de fotoionización (PID) de 1 ppb a 10.000 ppm. Estas características lo hacen un instrumento idóneo para determinación de COV's en el aire de la Ciudad de Córdoba.

8.- El equipo se programó para obtener un dato por hora.

9.- La calibración multipunto la realizó la empresa SIAFA, representante local de la firma RAE.

10.- Para las calibraciones semanales de dos puntos se contó con generadores de gas cero y un patrón de Etilbenceno de 100 ppm.

11.- La calibración multipunto tiene una duración de un año, y se realiza en Buenos Aires. El tiempo para realizar este procedimiento es de 10 días. Eso implicaría la pérdida de un mes de datos. Se optó por calibrar al momento de comenzar las mediciones y medir a lo largo de un año calendario.

12.- Las calibraciones de dos puntos, el mantenimiento, la verificación, el arreglo de desperfectos y la limpieza se hicieron mes a mes siguiendo un orden que nos permitiesen obtener el límite del 75% de los días del mes medidos.

1	2	3	4	5	24	7
8	9	10	24	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	24	26	27	28
29	30					

	2	horas perdidas
	6	horas perdidas
	4	horas perdidas
	24	horas perdidas

	Mes
	11
días posibles	30
días medidos	27
porcentaje	90,00%
días perdidos	-3
meses posibles	
meses medidos	
porcentaje	
meses perdidos	
horas posibles	720
horas medidas	579
porcentaje	80,40%
horas perdidas	141

Planilla adjunta.

13.- Como ejemplo de lo antedicho adjunto la planilla de calibración y mantenimiento correspondiente al mes de noviembre de 2015, donde se puede observar que se perdieron 3 días completos, 11 días exigieron trabajar 6 horas con el equipo, 9 días 4 horas y 2 días dos horas. A medida que avanzamos en el monitoreo optamos por trabajar casi diariamente sobre el equipo, siempre en plazos que no superen las 6 horas para no perder los

datos de todo el día. De esta manera el porcentaje de días medidos trepo a 90%, aun habiendo perdido 141 horas de las 720 del mes completo.

14.- El valor promedio de COV's medido para invierno y verano en la cuadrícula H6 es de $56 \pm 1ppb$ y $44 \pm 1ppb$, respectivamente. Realizamos el test t de Student para muestras independientes utilizando el software SPSS, con un porcentaje de error máximo permitido de 1%, a resultas del cual los valores surgen distinguibles con un 99% de intervalo de confianza en la diferencia.

15.- El valor promedio anual de COV's medido es de $51 \pm 1ppb$.

16.- Los valores promedio estacionales medidos para COV's son superiores a los estimados por modelación matemática ($46ppb$ y $29ppb$) para invierno y verano respectivamente, en la cuadrícula H6, en porcentajes de 21% y 51%.

17.- El error lo acarreamos desde el inventario de emisiones por extrapolación realizado a partir del mucho más preciso realizado en 1999 y la medición de otras fuentes de contaminantes que, seguramente aportan y no están modeladas.

18.- Cuando graficamos el comportamiento de los promedios horarios de las mediciones notamos que el mismo respeta el comportamiento del tránsito. Podemos decir de manera indubitable que la regulación de las fuentes móviles impactará positivamente en la salud de la población de la Ciudad de Córdoba.

19.- En comportamiento horario propio del flujo vehicular, esto y el hecho de que la zona central de la Ciudad de Córdoba sea eminentemente comercial y residencial hacen que la hipótesis de la necesidad de rehacer un inventario de emisiones utilizando metodologías más precisas cobre fuerza.

20.- En caso de no haber podido validar los datos de las horas, días y meses necesarios (75%) para que el año sea considerado monitoreado y para evitar descartar la totalidad de la información efectivamente obtenida, fuimos adaptando, en paralelo un procedimiento de simulación para valores perdidos del año. Se adecuó el trabajo Trabajo Final de Licenciatura en Enseñanza de Ciencias del Ambiente, "Aplicación de Redes Neuronales Artificiales para la Predicción de MP_{10} y O_3 ".

21.- Si bien no fue necesario utilizarlas, se hicieron unas corridas cualitativas a los fines de verificar comportamiento. Los resultados son interesantes y sugieren la posibilidad de futuros trabajos.

4.6.- ESTIMACIÓN DE RIEGOS PARA LA SALUD.

1.- Para estimar el riesgo para la salud humana por la exposición a BTEX debimos realizar una serie de estudios complementarios a los anteriores. Comenzamos por la determinación del tiempo de permanencia en el microcentro de la población transeúnte, luego hicimos una estimación de porcentaje de Benceno en COV's totales a partir de una exhaustiva búsqueda bibliográfica, determinamos las relaciones entre los distintos componentes de los BTEX utilizando las últimas mediciones realizadas y publicadas en Ciudad de Córdoba en el año 1998 y una exhaustiva búsqueda bibliográfica, apelamos a la demografía de la Ciudad de Córdoba y realizamos una compilación bibliográfica de los niveles de Bencenos medidos en 70 ciudades del mundo.

2.- Contando con estos resultados, más las mediciones, estimaciones y modelados del presente trabajo se procedió a determinar el riesgo adicional de contraer cáncer y otras enfermedades por exposición al Benceno, Tolueno y Xileno

3.- Para determinar el tiempo de permanencia en el microcentro se realizaron encuestas, de lunes a sábado en turnos mañana (8 a 11 horas) y tarde (14 a 17 horas). En estas encuestas se interrogaba a personas mayores de edad sobre el número de días en que arribaba al centro por semana y cuál era el tiempo aproximado de permanencia. Se definieron 13 circuitos que cubrían el microcentro. Los 13 encuestadores realizaron 40 encuestas por cada circuito, en cada turno (salvo el sábado turno tarde) durante una semana. Se realizaron 5720 encuestas, a los valores obtenidos para cada uno de los recorridos, turnos y días de la semana, les realizamos el test t de Student utilizando el software SPSS, para muestras independientes, con un porcentaje de error máximo permitido de 5%, a resultados del cual los valores surgen indistinguibles con un 95% de intervalo de confianza en la diferencia. Debido a que los datos son indistinguibles optamos por procesar los 13 recorridos para todos los días y turno como un solo conjunto de datos.

4.- El tiempo de permanencia en el centro de la ciudad es de 28 ± 2 horas semanales de exposición o 1400 ± 100 horas de exposición anual. Lo que significa que el transeúnte está expuesto a la contaminación por COV's 1400 de las 8760 horas del año. La población permanece en la zona el 16% de su tiempo total. El habitante del microcentro se encuentra expuesto el 100% del tiempo.

5.- En este trabajo no se determinaron los niveles de concentración de COV's en el interior de las viviendas del microcentro ya que ello exige una complejidad logística, técnica y presupuestaria que excede ampliamente los límites de un trabajo de doctorado. Es tarea de organismos oficiales.

6.- Hemos determinado los valores de COV's en un año de medición. De acuerdo a la bibliografía, en sitios urbanos con actividad comercial y de servicios el porcentaje de BTEX dentro de los COV's está entre un mínimo de 15% y un máximo de 20%. En nuestro caso, donde la medición es $51 \pm 1ppb$, el valor mínimo de concentración de BTEX es de $8 \pm 1ppb$ y el máximo de $10 \pm 1ppb$.

7.- La primera aproximación que utilizamos para calcular el Benceno, Tolueno y Xileno la haremos suponiendo que la composición de BTEX del aire atmosférico en la Ciudad de Córdoba es el de las naftas conformadas, oportunamente medidas en CEPROCOR, obtenemos los siguientes valores:

	ppb
Benceno	1,7
Tolueno	6,6
Etilbenceno	
Xilenos	10,9

8.- En la segunda aproximación utilizamos las relaciones de componentes correspondientes a las últimas mediciones oficiales realizadas en la Ciudad de Córdoba por el Observatorio Ambiental en 1998, con lo que obtenemos:

	Mínimo [ppb]	Máximo [ppb]
Benceno	1,6	2,3
Tolueno	2,5	3,9
Etilbenceno	0,7	0,9
Xilenos	2,5	3,9

9.- La tercera aproximación es utilizar la revisión bibliográfica internacional, con la que obtenemos:

	Mínimo [ppb]	Máximo [ppb]
Benceno	0,7	2,5
Tolueno	1,2	12,8
Etilbenceno	0,2	1,5
Xilenos	0,7	11,8

10.- Notamos que la tabla de la búsqueda internacional es más amplia y por ello absorbe al resto de las aproximaciones. No obstante consideramos más precisa la segunda aproximación ya que se corresponde a la Ciudad de Córdoba y si bien el flujo y tipo de vehículos han cambiado, las fuentes móviles siguen siendo la fuente excluyente de emisión de BTEX y las condiciones externas que favorecen las reacciones químicas son las mismas ya que el microcentro de la Ciudad de Córdoba mantiene su perfil comercial y de servicios.

11.- La población de la Ciudad de Córdoba es de aproximadamente 1.350.000 habitantes. Los menores de 18 años que no pueden conducir vehículos automotores, al igual que los adultos mayores a 75 años, que si bien no están vedados por la ley para obtenerlos en

la práctica los exámenes psicofísicos y los tiempos de vencimiento del carnet desalienta a las personas de este grupo a manejar vehículos, constituyen el 37% de la población.

12.- En 2009, existían 300.000 automóviles y 125.000 motocicletas. La población total era de 1.300.000 habitantes, de los cuales 820.000 podían obtener el carnet de conducir. 52 de cada 100 habitantes posibles tenían vehículos.

13.- En el año 2015, existían en la Ciudad de Córdoba aproximadamente 850.000 personas en condiciones de obtener su carnet de conducir vehículos. La flota de automóviles es de 550.000 y la de motocicletas es de 250.000. Existen entonces 800.000 vehículos, lo que significa que 94 de cada 100 personas con posibilidades de tener un vehículo, lo tienen.

14.- En solo 6 años el crecimiento de la flota vehicular fue del 186%, mientras que la población creció menos que un 4%. de seguir en esta relación de crecimiento en 2021 habrá 1.500.000 vehículos y 1.400.000 habitantes, de los cuales solo 880.000 podrían sacar carnet. 170 vehículos cada 100 personas.

15.- A partir de la bibliografía obtuvimos valores medidos para Benceno en 70 ciudades de diversos países. El 70% de las ciudades con determinaciones de COV's superan los valores de concentraciones de Benceno aceptados internacionalmente (1,57ppb).

16.- Para que los efectos de Tolueno y Xileno ambiental, comiencen a verificarse, necesitamos concentraciones en aire superiores a 50 y 30 ppm, respectivamente. Los valores medidos en vía pública para estos compuestos son tres órdenes de magnitud inferiores a los necesarios para causar efectos sobre la salud de las personas, por lo que el supuesto de efectos sobre el SNC debido a la exposición a estas sustancias no se verifica para aire ambiente. En las estaciones de servicios, por ser un espacio privado no se pudieron efectuar mediciones. No obstante debido a que el límite de detección de olor es del orden de 5 ppm, podemos asumir entonces que los valores son del orden de los que generan problemas a la salud. Realizando estimaciones con SCREEN3, se llega a que el valor promedio en el año es de 10 ppm, eso nos alerta sobre posibles horarios picos con valores más pronunciados.

17.- El riesgo adicional de contraer leucemia mieloide aguda es de 6 enfermos por cada millón de personas expuestas a 0,31 ppb de Benceno. Debido a que las concentraciones de Benceno oscilan para la Ciudad de Córdoba, entre un mínimo de 1,6 ppb y un máximo de 2,3 ppb, tenemos que el riesgo de contraer leucemia mieloide aguda debido a una exposición de por vida se encuentra entre 31 y 45 enfermos por cada millón de personas. De acuerdo a nuestro estudio los transeúntes del centro de la ciudad están 1400 horas anuales, es decir el

16% de su tiempo. Por ende dentro del grupo en estudio tenemos entre 5 y 8 personas cada millón con serios riesgos de enfermar.

4.7.- CONCLUSIONES.

1.- El valor máximo de emisiones por estaciones de servicio se da en la cuadrícula G5, ubicada al noreste de la cuadrícula del microcentro (H6), su valor, al ser comparado con las emisiones de fuentes móviles en igual cuadrícula es del 15% del total emitido, y calculado contra la cuadrícula de mayor emisión de móviles (H6) es del 4%.

2.- De acuerdo a los resultados de la modelación, la cuadrícula más contaminada es la correspondiente al sector H6 y coincide con la de mayor exposición de población transeúnte. El valor máximo de concentración de COV's obtenido en este trabajo a partir de modelación matemática con el modelo SCREEN3 en H6 para fuentes móviles es de 46 ppb. Esta predicción es la que determina la necesidad de establecer un sistema de monitoreo continuo en H6. Dentro de la cuadrícula se deben realizar encuestas para determinar tiempos de permanencia diaria, semanal, mensual y anual de la población transeúnte en el sector.

3.- Los valores promedio monitoreados en este trabajo para concentraciones de COV's, en invierno y verano del año 2015 en la cuadrícula H6 de la Ciudad de Córdoba son 56 ± 1 ppb y 44 ± 1 ppb, respectivamente. Estos valores son superiores en un 22% y 51% a los estimados por modelación matemática en la misma cuadrícula ambiental (46 ppb y 29 ppb), respectivamente. Las causas de la discrepancia son: a.- el error que acarreamos desde el inventario de emisiones por extrapolación partir del realizado en el año 1999 y b.- la medición de la totalidad de fuentes de contaminantes de COV's que aportan al resultado determinado y que no han sido consideradas en el Inventario y posterior modelado.

4.- La Figura 41 refleja un comportamiento horario propio del flujo vehicular, esto y el hecho de que la zona central central de la ciudad de Córdoba sea eminentemente comercial y residencial, hacen que la hipótesis de la necesidad de rehacer un inventario de emisiones utilizando metodologías más precisas cobre fuerza.

5.- El valor promedio mínimo y máximo conforme a los resultados del monitoreo realizado en el presente trabajo para el Benceno es de 1,6 y 2,3 ppb, respectivamente. Se determinó en este trabajo que la población transeunte de la ciudad de Córdoba permanece expuesta solo 1400 horas de las 8760 horas anuales calendario. Conforme a este dato y a los valores de Benceno medidos, aumenta el riesgo de la población humana expuesta de desarrollar una Leucemia Mieloide en un valor que oscila entre 5 a 8 personas por cada millón de personas transeúntes expuestas.

6.- Para aquellas personas que viven en situación de calle o con exposiciones superiores a la media, el riesgo crece hasta un mínimo de 31 y un máximo de 45 personas por millón.

7.- El crecimiento descontrolado de la flota vehicular, 50 veces más rápido que el crecimiento poblacional (determinado por un desarrollo de la flota desproporcionado respecto del desarrollo urbano), es un factor preponderante para que la polución generada por fuentes móviles se dispare.

8.- Los efectos sobre la salud de la contaminación atmosférica tienen un efecto sinérgico con la suma de contaminantes. A los valores de COV's medidos en este trabajo debemos agregar que Córdoba sufría hace dos décadas alertas ambientales por CO y PM₁₀ generados por fuentes móviles. El crecimiento de la flota indica que ese problema se debió haber agudizado y, los contaminantes que no eran problema en aquellos años, como el SO₂, el NO₂ y el O₃ deben estar manifestándose, por lo que la determinación de cada contribución y la toma de medidas al respecto es una necesidad imperiosa.

4.8.- SUGERENCIAS.

1.- La Ciudad de Córdoba deberá incorporar metodologías avanzadas de caracterización, evolución y control de la contaminación ambiental atmosférica en todo modelo de planificación futura y escenarios posibles de crecimiento.

2.- La administración pública municipal, provincial y nacional deben asumir, dentro de sus estructuras educativas, científicas y tecnológicas del ambiente, la impetuosa necesidad de articular acciones de fortalecimiento del estudio del ambiente atmosférico.

3.- Los organismos de promoción, vinculación y creación de conocimiento deben ser ágiles y eficientes para asumir la problemática ambiental del aire. Deben generar propuestas técnicas de consenso interinstitucional facilitando soluciones a las áreas legislativas, de gestión y control ambiental.

4.- Mantener un inventario de emisiones actualizado de todas las fuentes y contaminantes, su distribución espacial y temporal es la herramienta esencial para el desarrollo de políticas públicas y privadas.

5.- Mantener grupos que desarrollen en red modelos matemáticos que faciliten la evolución de los contaminantes. Los modelos matemáticos precisos disminuyen la cantidad de mediciones y estaciones necesarias para mantener un SMA funcional en el tiempo.

6.- Los efectores de salud deben dejar de considerar la contaminación ambiental como variable oculta o no manejable. Deben contar con información precisa para su eficaz desempeño y deben ser las propias Facultades de Ciencias Médicas las que avancen en esta dirección. Los informes de OMS son determinantes.

7.- Es necesario que las áreas de Ciencia y Tecnología creen líneas específicas para fomentar el desarrollo o recreación de aquel que fuera el primer Observatorio Ambiental de Latinoamérica. La Universidad debe ser su asiento natural.

8.- Este trabajo también deja claro que es solo el primer paso, pues se tuvo que generar la totalidad de los datos a partir de la información, conocimientos, recursos humanos y equipamiento con lo disponible al presente. Es necesario recrearlo e ir puliendo una a una las variables que se determinaron, siendo quizás cada una de ellas motivos de futuros trabajos y origen de grupos de investigación como los existentes en otras ciudades del mundo.

4.9.- PERSPECTIVAS FUTURAS.

1.- Este trabajo dejó ver una serie de líneas a explorar:

- a.- Contaminación con COV's en interiores de viviendas.
- b.- Contaminación con COV's por exposición laboral.
- c.- Contaminación con COV's por consumo voluntario de sustancias.

2.- Poner en funcionamiento el Instituto de Saneamiento y Ciencias del Ambiente I.S.C.A que Córdoba creó por ley 5840/72, a pocos meses de la primera cumbre de la tierra en Estocolmo 1972, una herramienta de vanguardia creada por una ley aún vigente y publicada en la Compilación de Leyes de Salud de la Provincia de Córdoba 1968 -1998. El I.S.C.A que tiene por objetivos generales, tal lo explicita la ley precitada en su artículo 1, inciso a) "El apoyo técnico a los Programas de Saneamiento Ambiental", inciso b) "Investigación de aspectos relativos a la contaminación del medio ambiente" e inciso c) El desarrollo de "Cursos de capacitación y perfeccionamiento" es un claro ejemplo de que nos sobran instrumentos y nos faltan acciones ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdul-Wahab S. A. y Al-Alawi S. M. Assessment and prediction of tropospheric ozone concentration levels using artificial neuronal networks. *Environmental Modelling & Software*. 2002; 17:219-228.
- Adgate J. L., Chuch T. R., Ryan A. D., Ramachandran G., Fredrickson A. L., Stock T. H. et al. Outdoor, indoor and personal exposure to COV's in children. *Environ Health Perspect*. 2004; 112:1386-92.
- Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR). Esta página fue revisada el: 06 de mayo de 2016. Content source: Agency for Toxic Substances and Disease Registry. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.html
- Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR). Page last reviewed: March 3 2011; Page last updated: March 3, 2011; Content source: Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.html>).
- Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR). Resúmenes de Salud Pública - Etilbenceno (Ethylbenzene). U.S. Department of Health and Human Services. September 2007 b. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs110.html.
- Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Benzene. U.S. Department of Health and Human Services. August 2007 a. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3.pdf>.
- Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Toluene. U.S. Department of Health and Human Services. September 2000. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp56.pdf>.
- Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Xylene. U.S. Department of Health and Human Services. August 2007 c. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp71.pdf>.
- Albert L. A., 2006. Curso básico de toxicología ambiental. Limusa. Noriega Editores. México. pp. 260-265.
- Alcaide López de la Manzanara M T. 2000. Efectos ambientales del tráfico urbano: la evaluación de la contaminación atmosférica en Madrid. Tesis Doctoral de Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. España: 358 p.
- Álvarez-Narvaez V., Quiñones-Bolaños E., Huertas-Bolaño M. E., Suárez C. A., Berdugo-Arrieta J., Ramírez-Rivas D. Methodology for selecting atmospheric monitoring sites in urban areas affected by emissions from mobile sources. *UIS Ingenierías, Revista de la Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas*. 2016; 15(2):73-84.

- AMVA – Universidad Nacional de Colombia, 2008. Informe Final del Contrato Interadministrativo N° 606 DE 2005 – Fortalecimiento de la Red de monitoreo de la calidad del aire en el Valle de Aburrá con medidores pasivos. Medellín.
- AMVA – Universidad Nacional de Colombia, 2012. Informe Final del Contrato Interadministrativo N° CD 185 DE 2011 – Evaluar y monitorear la calidad del aire en el Valle de Aburrá. Medellín.
- Arenal J. C., 1995. NTP 320, Umbrales olfativos y seguridad de las sustancias químicas peligrosas, Ed. INSHT. Barcelona.
- Arriaga-Colina J. L. y Seila L. México City March 1992 COV Sampling and Analysis Campaign. IMP-EPA Report July 1992.
- Arriaga-Colina J. L. y Seila L. México City March 1993 COV Sampling and Analysis Campaign. IMP-EPA Report May 1993.
- Arriaga-Colina, J. L., West, J. J., Sosa, G., Escalona, S. S., Ordúñez, R. M. and Cervantes, A. D. M. Measurements of VOC's in Mexico City (1992-2001) and evaluation of VOC's and CO in the Emissions Inventory. Atmospheric Environment. 2004; 38:2523-2533.
- Baeza Caracena A., González Ferradas E., Miñana Aznar A., 2001. "El Benceno en el aire de la ciudad de Murcia proyecto life-macbeth". Editores: Universidad de Murcia, País: España, Idioma: español, ISBN: 84-8371-242-3.
- Barletta B., Meinardía S., Sherwood Rowland F. S., Chanb C., Wangc X., Zoud S. et al. "Volatile organic compounds in 43 Chinese cities ". Atmospheric Environment. 2005; 39:5979-5990.
- Batterman S., Jia C. and Hatzivasilis G. Migration of volatile organic compounds from attached garages to residences: a major exposure source. Environ Res. 2007; 104:224-240.
- Berglund M., Elinder C. G., Järup L. Human exposure assessment: an introduction. Ginebra, Organización Mundial de la Salud. 2001. <http://www.imm.ki.se/publ/PDF/HEAboken.pdf>.
- Blaser M. "Dispersión de la contaminación atmosférica causada por el tráfico vehicular. Aplicación de un modelo matemático para Guatemala Ciudad y San Salvador," SwissContact, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Disponible en: <https://goo.gl/jAKjkG>.
- Bravo H., Sosa R., Sánchez P., Bueno E. and González L. "Concentrations of benzene and toluene in the atmosphere of the southwestern area at the Mexico City Metropolitan Zone". Atmospheric Environment. 2002; 36(23):3843-3849.

- Brett S. M., Rodricks J V., Chinchilli V. M. Review and update of leukaemia risk potentially associated with occupational exposure to benzene. *Environmental health perspectives*. 1989; 82:267-281.
- Buckley T. J., Payne-Sturges D., Kim S. R. and Weaver V. COV Exposures in an Industry-Impacted Community. NUATRC Research Report, Number 4. Baltimore.: Department of Environmental Health Sciences. Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health. 2005.
- Bustos Salas C. 2004. Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: análisis del proceso. Tesis de Magister de la Universidad de Chile, Santiago, Chile: 86 p.
- California Air Resources Board (CARB), 1989. <https://www.arb.ca.gov/msprog/aftermkt/omstar/omstar.pdf>.
- California Air Resources Board (CARB). Air Monitoring Quality Assurance, Volume I, Quality Assurance Plan. Monitoring and Laboratory Division. 2005.
- Campos J. M., 2012. Aplicación de Redes Neuronales Artificiales para la Predicción de MP10 y O3. Premio mejor tesis (ISBN 9789872889104).
- Carter W. Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds. *J. Air Waste Manage.* 1994; 44:881-899.
- Chan C.Y., Chan L.Y., Wang X.M., Liu Y.M., Lee S.C., Zou S.C. et al. Volatile Organic Compounds in Roadside Microenvironments of Metropolitan Hong Kong. *Atmos. Environ.* 2002; (36):2039-2047.
- Cochran, W.G. 1995. Técnicas de muestreo. Décima primera impresión. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México.
- Colman E., Müller A., Lespade P.; Aguilar M., Matamoros N., Schlink U. et al. Calidad del Aire (COVs, MCOVs y Mohos) en Áreas Urbanas e Industriales de la Región Capital de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia.* 2011; 6(21):81-95.
- Consejo Superior del Investigaciones Científicas, Centro de Astrobiología, Gobierno de España, 2012. <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115330.pdf>.
- Crump K. S. Risk of benzene-induced leukaemia: a sensitivity analysis of the pliofilm cohort with additional follow-up and new exposure estimates. *Journal of toxicology and environmental health.* 1994; 42:219-242.
- Crump K. y Allen B. Quantitative estimates of risk of leukemia from occupational exposure to benzene. Washington, DC, US Department of Labor, 1984 (OSHA Docket H-059b, Exhibit 152, Annex B).

- Delfino R., Gong H., Linn W., Hu Y. and Pellizzari E. Respiratory symptoms and peak expiratory flow in children with asthma in relation to volatile organic compounds in exhaled breath and ambient air. *J Expo Anal Environ Epidemiol.* 2003; 13:348-63.
- Description and History of the MOBILE Highway Vehicle Emission Factor Model. U.S.EPA 2017. <https://www.epa.gov/moves/description-and-history-mobile-highway-vehicle-emission-factor-model>.
- Dirección Nacional de Registros de Propiedad Automotor (Internet). n.d. Boletines estadísticos. (Consultado 15/04/2017). Disponible en: http://www.dnrpa.gov.ar/portal_dnrpa/boletines_estadisticos.php.
- Directiva Europea de Calidad del Aire 2000/69 /CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de noviembre de 2000, sobre los valores límite para el Benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente.
- Doskey P. V., Fukui Y., Sultan M., Maghraby A. A. y Taher A. Source Profiles for Nonmethane Organic Compounds in the Atmosphere of Cayro, Egypt. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 2002; (49):814–822.
- Duan J., Tan J., Yang L., Wu S. y Hao J. S. Concentration, sources and ozone formation potential of volatile organic compounds (COVs) during ozone episode in Beijing. *Atmos. Res.* 2008; 88:25-35.
- Duarte-Davidson R, Courage C, Rushton L. Benzene in the environment: an assessment of the potential risks to the health of the population. *Occup Environ Med.* 2001; 58:2-13.
- Economopoulos A. P., 2002. Evaluación de fuentes de contaminación del aire. Alexander P. Economopoulos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud.
- EMEP/EEA, 2009. Air pollutant emission inventory guidebook-2009. Copenague, Agencia Europea de Medio Ambiente. Informe Técnico n.º 9/2009; <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>.
- Espinosa Rubio M. E., 2008. Análisis y revisión de información que sustente la elaboración de una NOM sobre Benceno, Tolueno y Xilenos. Contrato INE/ADA-014/2008; Informe Final. México.
- Evequoz O., Sbarato D., Koroch A., Rivarola E., Sbarato V., Ortega J. et al. Pérdidas Evaporativas por almacenamiento y distribución de combustibles en estaciones de

- servicio. Análisis de su problemática y propuesta de marco regulatorio local: Córdoba, Argentina. 2000. www.bvsde.ops-oms.org Identificador: 158007 – CD/2300/U42/040.
- Field R. A., Pérez Ballesta P., Baeza Caracena A., Nikolova I., Connolly R., Cao N., et al. People Project (Population Exposure to Air Pollutants in Europe). Ispra: Joint Research Center. 2005. Report No.: EUR21810 EN.
 - FIRE, U.S. EPA, 1995. Emission Factors Retrieval System version 5.1a, INTERNET: <http://www.epa.gov/ttn/chief/>, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, 1996.
 - Fuselli S., De Felice M., Morlino R. y Turrio-Baldassarri L. A Three Year Study on 14 VOCs at One Site in Rome: Levels, Seasonal Variations, Indoor/Outdoor Ratio and Temporal Trends. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2010; ISSN 1660-4601 www.mdpi.com/journal/ijerph.
 - Gallego E., Roca F., Guardino X. y Rosell M. “Indoor and outdoor BTX levels in Barcelona City metropolitan area and Catalan rural areas,” *Journal of Environmental Sciences*. 2008; 20(9):1063-1069.
 - García F. F., Agudelo R. A. y Jiménez K. M. “Metodología para la localización de estaciones de monitoreo de material particulado a escala local (0.5 a 4 km) en la ciudad de Santa Marta”. *Gestión y Ambiente*. 2006; 9(2):121-136. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1694209860014>
 - García H., 2010. Combustibles fósiles, ambiente y salud pública: ensayos críticos. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 184 p. Editorial UNIV. NAC. COLOMBIA. ISBN 978-958-719-518-7. <http://www.uneditorial.com/combustibles-fosiles-44-ambiente-y-salud-publica-ingenieria-ambiental.html>.
 - Gardner M. W. y Dorling S. R. Artificial Neuronal Networks (The Multilayer Perceptron): A Review of Applications in the Atmospheric Sciences. *Atmospheric Environment*. 1998; 32:2627-2636.
 - Gardner M. W. y Dorling S. R. Neuronal Network modelling and prediction of hourly NOx and NO2 concentrations in urban air in London. *Atmospheric Environment*. 1999; 33:709-719.
 - Gee I. L. y Sollars C. J. Ambient Air Levels of Volatile Organic Compounds in Latin American and Asian Cities. *Chemosphere*. 1998; 36:2497–2506.
 - Glass D. C., Gray C. N., Jolley D. J., Gibbons C., Sim M. R., Fritschi L. et al. Leukemia risk associated with low-level benzene exposure. *Epidemiology* 2003; 14:569-77.

- Good-practices guide for air quality monitoring and data management. December 2000. Published by the Ministry for the Environment of New Zealand, ISBN 0-478-24005-2. 105 pp.
- Grivas G. y Chaloulakou A. Artificial neuronal network model for prediction of MP10 hourly concentrations, in the Greater Area of Athens, Greece. *Atmospheric Environment*. 2006; 40:1216-1229.
- Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), SEMARNAT y Western Governors' Association. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México D.F. 2005.
- Guía para la correcta selección y empleo de métodos de estimación de emisiones contaminantes. SEMARNAT y la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA), México. 2001.
- Haagen-Smit A. J. *Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog*. *Ind. Eng. Chem.* 1952; 44(6):1342-1346.
- Hartley W. R. y Englande A. J. Jr. "Health risk assessment of the migration of unleaded gasoline: a model for petroleum products". *Water Science and Technology*. 1992; 25:65-72.
- Henry J. G. and Heinke G.W. 1999. *Ingeniería Ambiental*. 2° Editorial Prentice Hall. México: 777 p.
- Hess-Kosa K. *Indoor Air Quality: Sampling Methodologies*. June 21, 2001 by CRC Press Pages - 150 ISBN 9781566705394.
- Hung H., "Toward the next generation of air quality monitoring: Persistent organic pollutants," *Atmospheric Environment*. 2013; 80:591-598. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.05.067>
- ICSC 0015, 2003. <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0015.html>, Page last reviewed: July 22, 2015 Page last updated: July 1, 2014.
- ICSC 0078, 2002 a. . <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0078.html> last reviewed: July 22, 2015 Page last updated: July 1, 2014).
- ICSC 0084, 2002 b. <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0084.html> last reviewed: July 22, 2015 Page last updated: July 1, 2014.
- ICSC 0085, 2002 c. <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0085.html> last reviewed: July 22, 2015 Page last updated: July 1, 2014,
- ICSC 0086, 2002 d. <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0086.html> last reviewed: July 22, 2015 Page last updated: July 1, 2014.

- ICSC 0268, 2007. <https://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0268.html> last reviewed: July 22, 2015 Page last updated: July 1, 2014.
- Ilgen E., Karfich N., Levsen K., Angerer J., Schneider P., Heinrich J. et al. "Aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment: part I. Indoor versus outdoor sources, the influence of traffic," *Atmospheric Environment*. 2001; 35(7):1235-1252.
- Inche J. L. Gestión de la calidad del aire: Causas, efectos y soluciones. Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial-UNMSM, Lima, Perú, 118pp, 2004.
- Informe final del Estudio: "Diagnóstico de compuestos orgánicos volátiles y H2S en aire ambiente en la zona de Tula-Vito-Apaxco". Convenio específico de colaboración entre el Instituto Nacional de Ecología y la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. N° Convenio: INE/A1-030/2008. Octubre, 2008. <http://studylib.es/doc/6452534/diagn%C3%B3stico-de-compuestos-org%C3%A1nicos-vol%C3%A1tiles-y-h2s-en-aire>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 1993 a y b. <http://www.ipcc.ch>.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). Monographs. (<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>) Last update: 19 May 2017.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). Monographs. Benzene. Lyon. 1987
- Inventario nacional de emisiones de México, 1999. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), SEMARNAT y Western Governors' Association. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México D.F. 2006.
- Inventario Nacional de Emisiones de México, 2005. SEMARNAT. Primera edición, México. 2012.
- Iovino P., Polverino R., Salvestrini S. and Capasso S. "Temporal and spatial distribution of BTEX pollutants in the atmosphere of metropolitan areas and neighbouring towns," *Environmental Monitoring and Assessment*. 2009; 150(1-4):437-444.
- Kenski D.M., Wadden R.A., Scheff P.A. y Lonneman W.A. Receptor Modeling Approach to VOC Emission Inventory Validation. *J. Environ. Eng.* 1995; 121:483-491.
- Koss G. y Tesseraux R. 1999, "Hydrocarbons". En: Hans Marquardt, Siegfried G. Schäfer, Roger Mc Clellan, Frank Welsch (Eds) *Toxicology*. Chapter 25. Academic Press. EUA. pp 603-613.
- Kukkonen J., Partanen L., Karppinen A., Ruuskanen J., Junninen H., Kolehmainen M., et al. "Extensive evaluation of neuronal networks models for the prediction of NO2 and MP10 concentrations, compared with a deterministic modelling system and measurements in central Helsinki". *Atmospheric Environment*. 2003; 37:4539-4550.

- Lai C., Chen K., Ho Y. y Chou M. “Characteristics of C2-C15 hydrocarbons in the air of urban Kaohsiung, Taiwan” *Atmospheric Environment*. 2004; 38(13):1997-2011.
- Lauwerys R. 1994, *Toxicología industrial e intoxicaciones profesionales*. Masson. Barcelona, España. pp 228-242.
- Lee S., Chiu M., Ho K., Zou S. y Wang X. Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong. *Chemosphere*.2002; 48.
- Loh M. M., Houseman E. A., Gray G. M., Levy J. I., Spengler J. D., Bennett D. H. Measured concentrations of COVs in several non-residential microenvironments in the United States. *Environ Sci Technol*. 2006; 40:6903-6911.
- Makumdar D., Mukherjee A., y Sen S., “BTEX in ambient air of a Metropolitan City,” *Journal of Environmental Protection*. 2011; 2:11-20.
- Maré M. Current air quality analytics and monitoring: A review. *Analytica Chimica Acta*. 2015; 853:116-126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2014.10.018>
- Martínez, A. P. and Romieu, I. 1997. *Introducción al Monitoreo Atmosférico*. Web: <http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>.
- Martínez-Toledo A. y Cuevas-Díaz M. C., 2012. Producción de BTX en México. *Revista Académica de Investigación Tlatemoani*, editada por la Universidad de Málaga . 2011; 5:1-12. <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/05/mtcd.htm> - 2012-08-06.
- Mendoza-Domínguez A., León-Romero M.A. y Caballero-Mata P. Volatile Organic Compound Emissions from Light-Duty Vehicles During Cold-Starts. *Ing. invest. y tecnol. México* jul./sep. 2010; 11(3).
- Ministerio de Energía y Minería [Internet]. n.d. Información estadística. [Consultado 01, 04, 2017]. Disponible en: <https://www.minem.gob.ar/www/706/25764/informacion-estadistica.html>.
- Mohan R., Pandit G., Sain P., Sharma S., Krishnamoorthy T. and Nambi K. “Non-methane hydrocarbons in industrial locations of Bombay,” *Atmospheric Environment*. 1997; 31(7):1077-1085.
- Mugica V. A, Ruiz M. E., Watson J. y Chow J. Volatile Organic Compounds in México City Atmosphere: Levels and Sources Apportionment. *Atmósfera*, (16):15–27. 2003.
- Mugica V. A., Vega E. R. y Ruiz M. E. .Determination of hydrocarbons emission non-methane profiles in parkings of the city of México. *Memorias. IV. Congreso Interamericano sobre el medio ambiente*. Tomo 1, 1997.
- Na K. y Kim Y. Seasonal Characteristics of Ambient Volatile Organic Compounds in Seoul, Korea. *Atmos. Environ*. 2001; (35):2603-2614.

- NAPS, National Air Pollution Surveillance Network, 2004. Quality Assurance and Quality Control Guidelines. Environmental Technology Centre Analysis and Air Quality Division, Toxicology and Environmental Health 1984;13:205-227. Report No. AAQD 2004-1, Environment Canada, Canada, 44 pp.
- NOM-047-SSA1-1993, establece los límites biológicos máximos permisibles de disolventes orgánicos en el personal ocupacionalmente expuesto.
- Observatorio de Seguridad Vial, 2014 a. [Internet]. n.d. Parque vehicular. [Consultado 14, 03, 2014]. Disponible en: http://observatoriovial.seguridadvial.gov.ar/documentos/estadistica/parque-vehicular/serie-historica/serie_hist_parq_automotor.pdf.
- Observatorio de Seguridad Vial, 2014 b. [Internet]. n.d. Informes estadísticos. [Consultado 14, 03, 2014]. Disponible en: <http://observatoriovial.seguridadvial.gov.ar/informes-estadisticos.php>.
- OMS –Inventory Technique- "Assessment of Sources of Air, Water, and Land Pollution: A Guide to Rapid Source Inventory Techniques" 1993. http://whqlibdoc.who.int/hq/1993/WHO_PEP_GETNET_93.1-A.pdf.
- Organización Mundial de la Salud Regional Office for Europe. Development of WHO. Guidelines for Indoor Air Quality. Bonn: WHO Regional Office for Europe; 2006.
- Organización Mundial de la Salud. Guías para la Calidad del Aire. Traducción del Informe de la Reunión de un Grupo de Trabajo de Expertos de la OMS desarrollada en Ginebra, Suiza en diciembre de 1997. Lima. 2004.
- Orozco Barrenetxea C., Pérez Serrano A., González Delgado M. N., Rodríguez Vidal F. J. y Alfayate Blanco J. M. 2008. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Thomson Ed., Spain: 681 p.
- Paustenbach D. J., Bass R. D. y Price P. Reevaluation of benzene exposure for the pliofilm (rubberworker) cohort (1936–1976). *Journal of toxicology and environmental health*. 1992; 36:177-231.
- Paxton M. B. Leukaemia risk associated with benzene exposure in the pliofilm cohort: I. Mortality update and exposure distribution. *Risk analysis*. 1994; 14:147-154.
- Paxton M. B., Chinchilli V. M., Brett S. M., Rodricks J. V. Leukaemia risk associated with benzene exposure in the pliofilm cohort. II. Risk estimates. *Risk analysis*. 1994; 14:155-161.
- Primo Y. E. 1996, Química orgánica básica y aplicada: de la molécula a la industria. Tomo 1. Universidad Politécnica de Valencia. Reverte. Barcelona, España. pp 261-268.

- Principios de Medición de la Calidad del Aire, Instituto Nacional de Ecología (INE), Mexico, 2011.
- Pyta H. 2006. "BTX Air Pollution in Zabrze, Poland". Polish J. of Environ Stud Vol. 15, No. 5. p.p. 785-791.
- Rekhadevi P., Rahman M., Mahboob M. y Grover P. "Genotoxicity in filling station attendants exposed to petroleum hydrocarbons," Annals of Occupational Hygiene. 2010; 54(8):944–954.
- Rinsky R. A., Smith A. B., Hornung R., Filloon T. G., Young R. J., Okun A. H., Landrigan P. J. Benzene and leukaemia. An epidemiologic risk assessment. New England journal of medicine. 1987; 316:1044-1050.
- Rubiano-Hernández C. M. Un Plan de gestión para la prevención y control de la contaminación del aire por BTX (Benceno, Tolueno, Xileno) en el área metropolitana del Valle de Aburrá. Tesis o trabajo de investigación presentado para optar al título de :Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2013. <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/un-plan-de-gestion-para-la-prevencion-y-control-de-la-contaminacion-del-aire-por-btx-benceno-tolueno-xileno-en-el-area-metropolitana-del-valle-de-aburra>
- Ruiz M. E., Arriaga-Colina J. L. y García I. Determinación de COV's en la Atmósfera de la Ciudad de México mediante el uso de sistemas ópticos y métodos convencionales. Atmósfera. 1996; 9:119-135.
- Rumchev K., Spickett J., Bulsara M., Phillips M. y Stick S. Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children. Thorax. 2004; 59:729-30.
- Sanín Cortés N. 2002. Construcción de un modelo tridimensional para ajuste de campos de viento y dispersión de contaminantes en la atmósfera. Tesis Doctoral de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España: 188 p.
- Sans Fonfría R. y Ribas J. 1999. Ingeniería Ambiental. Contaminación y tratamientos. Alfaomega Grupo Editor SA de CV, México: 220 p.
- Sbarato R. D. y colaboradores "Metodologías de diagnóstico y pronóstico e contaminación atmosférica en ecosistemas urbanos". 300 ejemplares. Ed. Universitaria. Marzo 2001. ISBN:950-33-0285-4.
- Sbarato R. D. y Rubio M. 2017, Estimación de COV's emitidos por fuentes fijas y móviles en el aire de la Ciudad de Córdoba, Argentina. Comunicación Breve. Revista

de la Escuela de Salud Pública, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad Nacional de Córdoba. Aceptado para publicar.

- Sbarato R. D., Ortega J. E., Sbarato V. M., 2009. “Contaminación del Aire”. 5000 ejemplares. Encuentro, Grupo Editor, Córdoba,. 124 páginas. ISBN 978-987-1432-36-3”.
- Scheff P. A. and Wadden R. A. Receptor Modeling of Volatile Organic Compounds. 1. Emission Inventory and Validation. Environ. Sci. Technol. 1993; (27):617-625.
- Scientific Instrument Services, INC, 2017 <http://www.sisweb.com/index/referenc/tenaxtam.htm>.
- SCREEN3 U.S.EPA, 2000. <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-screening-models>.
- Secretaría de Energía, 2004. <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/100000-104999/102640/norma.htm>.
- Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, contaminantes criterio 2010. 2012. Disponible http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/inventarios_emisiones2010/Ecriterio10_.pdf
- SEMARNAT, 2005, INE, Western Governor's Association . Guía de Elaboración y Usos de Inventarios de Emisiones. Primera edición , Mayo 2005, México).
- Serrano-Trespacios P. I., Ryan L. y Spengler J. D. Ambient, indoor and personal exposure relationships of volatile organic compounds in Mexico City Metropolitan Area. J Exp Environ Epidemiol 2004; 14:118-132.
- Singer B. C., Kirchstetter T. W., Harley R. A., Kendall G. R. y Hesson J. M. A Fuel-Based Approach to Estimating Motor Vehicle Cold-Start Emissions. J. Air & Waste Manage. Assoc. 1999; (49):125–135.
- Singh N. P. y Gokhale S. “A method to estimate spatiotemporal air quality in an urban traffic corridor”, Science of the Total Environment. 2015; 538:458-467. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.065>
- Singla V., Pachauri T., Satsangi A., Kumari K. y Lakhani A. “Comparison of BTX profiles and their mutagenicity assessment at two sites of agra, India.” The Scientific World Journal. Volume. 2012; article ID 272853, 11 páginas.
- Sistema de clasificación industrial de América del Norte, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Segunda edición. México. 533 pp. 2002.

- Spiker R. C y Morris G. B. 2001. "Solvents and industrial hygiene". En: Wallace Hayes (Ed) Principles and methods of toxicology. Four Edition. Chapter 12. Taylor and Francis. EUA. Pp 552-553.
- Srivastava A., Joseph A., Patil S., More A., Dixit R. and Prakash M. "Air toxics in ambient air of Delhi" Atmospheric Environment. 2005; 39(1)59-71.
- Sweet C. W. and Vertmette S. J. Toxic Volatile Organic Compounds in Urban Air in Illinois. Environ. Sci. Technol. 1992; (26):165–173.
- Swoboda-Colberg. Chemical contamination of the environment, sources, types and fate of synthetic organic chemicals. En, Youn, L.Y.; Cerniglia, C.E. (Eds.), Microbial transformation and degradation of toxic organic chemicals. Pág. 27-74. Wiley-Liss, New York, 1995.
- TANKS Emissions Estimation Software, Version 4.09D. U.S.EPA, 2016. <https://www3.epa.gov/ttnchie1/software/tanks/>
- Tecnoteca, Tecnologías de control de contaminantes procedentes de fuentes estacionarias, formato pdf., Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México D.F.
- U.S.EPA - AP-42, 1972-2017. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emission-factors>.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2001. Holland J. C. Volatile Organic Compounds (VOC's) Audit, Revision: 3, NPAP-SOP-017, 15 pp. 2001. <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/npapsop/sop017.pdf>
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2008 a. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II: Ambient Air Quality Monitoring Program. U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division. Research Triangle Park, NC, USA. Report No.: EPA-454/B-08-003.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2008b. U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2008 Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume IV: Meteorological Measurements Version 1.0 (Draft). U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Analysis Division, Measurement Technology and Ambient Air Monitoring Groups. Research Triangle Park, NC, USA. Report No.: EPA-454/D-06-001.

- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2015. Air Quality Planning and Standards. Disponible en: <http://www.epa.gov/airquality/monring.html>.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2016 a. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html#compendium> (Last updated on 1/11/2016). <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-1.pdf>.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2016 b. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html#compendium> (Last updated on 1/11/2016). <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-2.pdf>.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2016 c. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html#compendium> (Last updated on 1/11/2016). <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-3.pdf>.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2016 d. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html#compendium> (Last updated on 1/11/2016). <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-12.pdf>.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2016 e. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html#compendium> (Last updated on 1/11/2016). <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-14ar.pdf>.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2016 f. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html#compendium> (Last updated on 1/11/2016).
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2016 g. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html#compendium> (Last updated on 1/11/2016). <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-15r.pdf>.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2016 h. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html#compendium> (Last updated on 1/11/2016). <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-16r.pdf>.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2016 i. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html#compendium> (Last updated on 1/11/2016). <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-17r.pdf>.
- U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency, 2016 j. <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/airtox.html#compendium> (Last updated on 1/11/2016). <https://www3.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/tocomp99.pdf>.
- Universidad Tecnológica de Pereira. 2000. <http://medicinaycomplejidad.org/pdf/redes/Backpropagation.pdf>

- User's Guide ppbRAE 3000.
http://www.raesystems.com/sites/default/files/content/resources/Manual_ppbRAE3000_RevE.pdf. 2014.
- Vega de Kuyper J. C. 2007. Química del Medio Ambiente. Alfaomega Grupo Editor SA de CV, 2 ed, México: 234 p.
- Wallace L. A. Major sources of benzene exposure. *Environ Health Perspect.* 1989a Jul; 82:165-9;
- Wallace L. A. The exposure of the general population to benzene. *Cell Biol Toxicol.* 1989b; 5:297- 314.
- Wang X., Shenga G., Fua J., Chanb C., Leeb S., Chanb L. Y. et al. "Urban roadside aromatic hydrocarbons in three cities of the Pearl River Delta, People's Republic of China," *Atmospheric Environment.* 2002; 36(33):5141-5148.
- Wan-Kuen J., Lee J. W., Shin D. C. Exposure to volatile organic compounds in residences adjacent to dyeing industrial complex. *Int Arch Occup Environ Health.* 2004; 77:113-20.
- Watson J. G., Chow J. C. y Fujita E. M. Review of Volatile Organic Compound Source Apportionment by Chemical Mass Balance. *Atmos. Environ.* 2001; (35):1567-1584.
- Werbos P. J.. Backpropagation Throught Time: What it Does and How Do It. *Proceedings of the IEEE.* 1990; 78(10)1550-1560.
- World Health Organization (OMS) Regional Office for Europe, Copenhagen. Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series, No. 91, Second Edition, ISBN 92 890 1358 3, 2000.
- Zielinska B., Sagebiel J. C., Harshfield G., Gertler A. W. y Pierson W. R. Volatile Organic Compounds up to C20 Emitted from Motor Vehicles; Measurement Methods. *Atmos. Environ.* 1996; (30):2269-2286.

ANEXOS

Publicaciones relativas al tema de tesis.

- Sbarato R. D. "Inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera en la Ciudad de Córdoba, Argentina" Revista Proyecta del Colegio de Ingenieros Especialistas de Córdoba. Agosto de 1998.
- Evequoz O., Sbarato D., Koroch A., Rivarola E., Ortega J., Salort M., Campos M.. Pérdidas Evaporativas por almacenamiento y distribución de combustibles en estaciones de servicio. Análisis de su problemática y propuesta de marco regulatorio local: Córdoba, Argentina. 2000. www.bvsde.ops-oms.org Identificador: 158007 – CD/2300/U42/040.
- Sbarato R. D. y colaboradores “Metodologías de diagnóstico y pronóstico e contaminación atmosférica en ecosistemas urbanos”. 300 ejemplares. Ed. Universitaria. 2001. ISBN:950-33-0285-4.
- Manzo P., Sbarato R. D., Ortega J. E., Campos J. M., Análisis de compuestos orgánicos del material particulado atmosférico, Ciudad de Córdoba, Argentina. <http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>. 2005.
- Sbarato R. D. Determinación de la calidad del aire de la Ciudad de Córdoba. <http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>. 2005.
- Sbarato R. D., Ortega J. E., Campos J. M., Salort M. R. Emisiones de contaminantes en el Aeropuerto Internacional Córdoba, Argentina. <http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>. 2005.
- Sbarato R. D. y Romero C. E. “Aspectos destacados del diagnóstico de la calidad del aire de la Ciudad de Córdoba. II Foro Libre del Ambiente. El Aire. <http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>. 2005.
- Ortega J. E., Sbarato R. D., Campos J. M., Brizzio J. E. El diseño y la evaluación de problemas ambientales en Argentina. Ciudad de Córdoba. <http://www.bvsde.ops-oms.org/sde/ops-sde/bvsde.shtml>. 2005.
- Sbarato R. D. y colaboradores “Predicción y evaluación de impactos ambientales sobre la atmósfera”. Encuentro, Grupo Editor, Córdoba. 2007. 152 pp. ISBN 978-987-23268-5-2.
- Sbarato R. D., Ortega J. E., Sbarato V. M. “Contaminación del Aire”. 5000 ejemplares. Encuentro, Grupo Editor, Córdoba,. 124 pp. ISBN 978-987-1432-36-3”. 2009.
- Rubio M. y Sbarato R. D. Determinación de COV’s en el aire de la Ciudad de Córdoba, Argentina. Trabajo presentado y publicado en E-ICES 12. 12° Encuentro

Internacional de Ciencias de la Tierra. 14 al 17 de noviembre de 2017. Universidad Nacional de Cuyo - Mendoza.

- Sbarato R. D. y Rubio M. Estimación de COV's emitidos por fuentes fijas y móviles en el aire de la Ciudad de Córdoba, Argentina. Trabajo aceptado para su publicación. Revista de la Escuela de Salud Pública. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Córdoba. 2017.
- Sbarato R. D. y Rubio M. Modelación matemática de la distribución de COV's en el aire de la Ciudad de Córdoba, Argentina. Trabajo enviado para su publicación. Revista de la Escuela de Salud Pública. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Córdoba. 2017.
- Sbarato R. D. y Rubio M. Monitoreo de COV's en el aire de la Ciudad de Córdoba, Argentina. Trabajo enviado para su publicación. Revista de la Escuela de Salud Pública. Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de Córdoba. 2017.

Informe CEPROCOR



Pág. 1 de 1

INFORME DE ENSAYO

USA - 00215

DATOS DEL SOLICITANTE

Solicitante/Ciente: SBARATO RÚBEN DARIO
 Teléfono: 0351-152342009
 Domicilio: MARIANO FRAGUEIRO 4550. CORDOBA - BARRIO MARIANO FRAGUEIRO
 Email: ruben.sbarato@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

N° de Solicitud de Servicio: 25515
 Lote: 01
 Responsable de toma de muestra: Solicitante
 Lugar de toma de muestra: No aplica
 Código de Muestra: 62113
 Identificación dada por el solicitante: 62113: Nafta conformada Córdoba
 Observaciones:

Fecha Recepción: 21/08/2017
 Fecha Elaboración: 14/08/2017
 Fecha Vencimiento: No aplica
 Tipo de Muestra: Matrices varias
 Fecha de toma de muestra: 14/08/2017

RESULTADOS DE LA MUESTRA

Servicio especial

ENSAYOS ORGÁNICOS (Estudio cualitativo de Hidrocarburos por CG-FID) (1)	% RELATIVO EN MUESTRA (2)	% RELATIVO ENTRE COMPUESTOS IDENTIFICADOS (3)
Benceno	3,32	8,93
Tolueno	12,95	34,79
Xilenos + Etilbenceno	20,95	56,28

Información Adicional:

- (1) Según lineamientos de EPA 8015C / SW846 para Hidrocarburos Totales. CG-FID: Cromatografía en fase Gaseosa con detección por ionización de llama.
- (2) Porcentaje de área del compuesto identificado sobre el total de señales registradas en el cromatograma.
- (3) Porcentaje de área de cada compuesto en particular respecto del total de áreas de compuestos identificados.

La identidad de los compuestos informados se realizó por comparación en los tiempos de retención contra patrones provistos por el solicitante.

Blas Marcelo Turco
 Unidad de Tecnología Química
 CEPROCOR

Firma Responsable Técnico

Fecha de Emisión: 22/11/2017

Lic. Marcelo Machado
 Dirección de Gestión Tecnológica
 CEPROCOR

Certificación Institucional

ESTE INFORME NO CONSTITUYE UNA AUTORIZACIÓN O UN CERTIFICADO COMERCIAL
 Los resultados contenidos en el Informe sólo se refieren a las muestras ensayadas. Queda prohibida toda reproducción parcial del presente informe sin contar con la autorización expresa por parte del CEPROCOR.
 EL SECTOR ASEGURA LA CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA HASTA LA FECHA DEL ANÁLISIS.

Sede Córdoba
 Av. Álvarez de Arenales 180, B° Juniors.
 (X5004AAP) Córdoba
 Tel: + (54 - 0351) 4342490
 Fax: + (54 - 0351) 4342730

Sede Santa María de Punilla
 Complejo Hospitalario Santa María de Punilla
 (X5164)
 Tel: + (54 - 03541) 489651
 Fax: + (54 - 03541) 488181

R USA 0001 - Rev01 - Vigencia: 20/04/2016