

# Los efectos de la contaminación atmosférica por PM<sub>10</sub> sobre la salud ciudad de La Paz – Bolivia (3650 m.s.n.m.)

Pablo Aldunate<sup>1</sup>, Oscar Paz<sup>1</sup>, Kjetil Halvorsen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad Mayor de San Andrés

<sup>2</sup>Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico, Swisscontact

La Paz, Bolivia

e-mail: dipahir@yahoo.com

## Resumen

Con el objeto de estudiar el comportamiento de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en la atmósfera de la zona central de la ciudad de La Paz durante los meses de invierno y determinar el grado en que estas influyen sobre el número de casos de enfermedades respiratorias e infecciones oculares, se conformó una base de datos que contiene información de: niveles de contaminación por PM<sub>10</sub> entre May. y Sep. del 2003 y entre Jun. y Ago. del 2004. Complementariamente se desarrolló una base de datos, con información del número de casos de enfermedades respiratorias y oculares registrados en tres hospitales especializados entre Abr. y Sept. del 2003 y entre Jun. y Jul. del 2004. Los casos fueron clasificados en tres grupos: enfermedades de las vías respiratorias superiores, de las vías respiratorias inferiores y oculares, los cuales se sometieron a un análisis de regresión estadística frente a los niveles de contaminación encontrados, considerando también la influencia de algunos parámetros meteorológicos. El análisis constató que las concentraciones de PM<sub>10</sub> en la ciudad de La Paz no sobrepasan los límites máximos permisibles, no obstante se registraron efectos significativos sobre la salud de la población, con incrementos de 23% en el número de casos de enfermedades de las vías respiratorias inferiores y de 46% en el número de casos de enfermedades de las vías respiratorias superiores, ambos, después de 12 días de haberse registrado exposiciones agudas con incrementos de 20 µg/m<sup>3</sup> en las concentraciones de PM<sub>10</sub>. No se han encontrado efectos significativos sobre enfermedades e infecciones oculares. Otros efectos en la salud son: dificultad para respirar, tos, ronquera y ardor en los ojos, que no necesariamente ocasionan una visita médica por los afectados. La contaminación por PM<sub>10</sub> generada durante las fiestas de San Juan ocasionó incrementos de 219% y 275% (2003 y 2004 respectivamente) en las concentraciones de PM<sub>10</sub>, con respecto a los niveles promedio que normalmente se registraron en la ciudad, estas concentraciones permanecieron entre 3 y 4 días en sus valores más altos y llegaron a sus niveles normales solamente después de 19 a 20 días de la mencionada festividad.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, material particulado en suspensión,  $PM_{10}$ , monitoreo de la calidad del aire, efectos sobre la salud, epidemiología, análisis de regresión Poisson, modelos lineales generalizados.

## 1 Introducción

La atmósfera es esencial para la vida por lo que sus alteraciones tienen una gran repercusión en el hombre y otros seres vivos. Es un medio extraordinariamente complejo y muy difícil de estudiar, más aun cuando se le añaden emisiones contaminantes en gran cantidad, como está sucediendo en estas últimas décadas. Una atmósfera cada vez más contaminada ha ido acompañada, en la historia, de significativos efectos sobre la salud pudiendo causar desde una simple molestia hasta la hospitalización de personas y la muerte. Las modificaciones que se producen en su composición química pueden cambiar el clima, producir lluvia ácida o destruir la capa de ozono.

Un ser humano adulto inhala cada día 15 a 18 kg (11.000 a 14.000 L) de aire, absorbe unos 2 L de agua y consume 1,5 kg de alimentos. De los 3 aportes externos, la interrupción del aire, es la que más rápidamente imposibilita la continuación de la vida (5 min). A lo largo de la vida de una persona, unas 200 tn de aire, pueden haber pasado por sus pulmones.

Uno de los principales agentes determinantes de la calidad del aire son las partículas suspendidas, estas, son producto de una gran cantidad de procesos naturales o antropogénicos y consecuentemente el riesgo que constituyen depende de algunas de sus múltiples características, que varían en términos de su composición química, morfología, parámetros ópticos, características eléctricas y de su facilidad de absorber y adsorber otras sustancias en su superficie.

El término "partícula" abarca una amplia variedad de componentes sólidos y líquidos. Hasta cierta cantidad las partículas son un componente natural de la atmósfera e incluyen productos de procedencia variada: condensación de procesos naturales, de reacción de trazas de gases, materiales resuspendidos, así como también numerosos elementos biológicos. A todas ellas hay que sumar las introducidas por el hombre incluyendo polvo, ceniza, metales pesados, diesel, gasolina parcial y totalmente quemada y un sinnúmero de productos químicos que se producen como resultado de actividades como combustión, incineración, transporte, construcción, industria, etc. La combustión es la principal causante de la contaminación atmosférica. En menos de dos décadas los vehículos de combustión interna se convirtieron en los principales emisores de contaminación y que hoy es un problema crítico, pues no es sólo fruto de su funcionamiento, sino también de su proliferación, de la calidad de combustible utilizado, del tipo y antigüedad de los autos, etc.

Casi cualquier actividad que realizamos como barrer, jugar fútbol, prender fuego, pulir y hasta soplar una flor resultan ser procesos productores de partículas suspendidas. Por otro lado muchas partículas son producto de reacciones químicas en la atmósfera. Por ejemplo, al quemarse combustibles que contienen azufre, se forma el dióxido de

azufre, éste se transforma en partículas líquidas muy finas que son pequeñas gotas de ácido sulfúrico, que a su vez forman partículas sólidas de sulfato. Algo similar pasa con los óxidos de nitrógeno. Finalmente, pueden servir como núcleos de condensación de vapores con lo cual se producen micro gotas, en las que pueden ser transportados gases higroscópicos, aumentando su efecto agresor.

Debido a que las partículas son de tamaño, forma y composición variada, para su identificación en cuanto a tamaño y forma, se han clasificado en términos de diámetro aerodinámico <sup>1</sup>, por que es su tamaño el que determina cómo se comportará en la atmósfera y qué tan profundamente penetrará en el pulmón. Bajo este contexto, el tamaño de las partículas es la característica física más importante para determinar su toxicidad. Planteándose dos grandes grupos:

El que no ingresa al aparato respiratorio (No inhalables), quedando atrapado en nuestras fosas nasales, al presentar un diámetro mayor a 10  $\mu\text{m}$  <sup>2</sup> y el que si ingresa al aparato respiratorio al presentar un diámetro menor a 10  $\mu\text{m}$ .

A menudo los primeros efectos perceptibles de la contaminación por partículas son de naturaleza estética y no son necesariamente peligrosos, ejerciendo cuando menos, influencia nociva sobre el bienestar mental. Al incrementarse las concentraciones se presentan otros efectos como daños en la vegetación y deterioro de los materiales implicando un perjuicio económico, debido a la necesidad de su manutención y/o sustitución. Los efectos atmosféricos que producen dependerán de la altitud a la que se encuentren, las de baja altura disminuyen el flujo solar sobre el suelo, pero contribuyen a aumentar el efecto invernadero. A mayor altura, el efecto de barrera solar es preponderante, produciendo un enfriamiento de la baja atmósfera y un calentamiento en la estratosfera.

Sin embargo son las partículas suspendidas menores o iguales a 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) las que forman parte de los contaminantes de mayor atención actual, ya que en muchas ciudades se han demostrado y documentado sus efectos nocivos sobre la salud, al relacionar el aumento en sus concentraciones con incrementos en el número de hospitalizaciones por enfermedades respiratorias y defunciones.

---

<sup>1</sup> Diámetro de una esfera con densidad unitaria (Densidad del agua = 1 g/cm<sup>3</sup>), que sedimenta, en aire en calma, con la misma velocidad terminal debida a la fuerza gravitacional que la partícula en cuestión, bajo las mismas condiciones ambientales.

<sup>2</sup> 1  $\mu\text{m}$  = 10<sup>-6</sup> m = 10 millonésimos de un metro; un cabello humano tiene un diámetro aproximado de 100  $\mu\text{m}$ .

Las partículas son incorporadas en el cuerpo a través del sistema respiratorio. Cuando se inhala, se respira aire junto con partículas que se encuentran en él, el aire y las partículas viajan por el sistema respiratorio, las partículas de mayor tamaño ( $> 6 \mu\text{m}$ ) van quedando atrapadas en las vías respiratorias superiores y medias, mientras que las de menor tamaño ( $0,5$  a  $6 \mu\text{m}$ ) logran ingresar hasta los pulmones. Entre más profundo viajen las partículas el efecto será más severo. El hecho de respirar a través de la boca le permite a las partículas viajar más profundamente en los pulmones. También mientras se hace ejercicio, las partículas pueden viajar más profundamente.

Los pulmones producen mucosidad para atrapar a las partículas  $\text{PM}_{10}$  y existen cilios que se mueven para mover la mucosidad y las partículas hacia fuera. La mucosidad sale de las vías respiratorias al toser o estornudar, transportando también las partículas a la boca desde donde se eliminan al exterior o al sistema digestivo. Las partículas muy pequeñas entran profundamente en los pulmones, alcanzando los alvéolos y tardan semanas, meses o incluso años para que el cuerpo las elimine. La respiración de aire contaminado disminuye la función de limpieza y la capacidad de defensa de los pulmones, lo que puede ocasionar que gran número de partículas lleguen a las partes más profundas del pulmón donde quedan atrapadas y no pueden ser expulsadas. El daño causado puede contribuir a la aparición de enfermedades respiratorias, afectando también el corazón y el sistema circulatorio, ya que aquellas partículas retenidas con capacidad de solubilizarse pasan hacia el torrente sanguíneo cambiando los niveles de ciertos componentes en la sangre, pasando el riesgo a órganos diferentes del pulmón. O sea que el daño en la salud del individuo también está en función de dónde se depositen las partículas y del tipo de partícula que entra al tracto respiratorio.

Los efectos sobre la salud tanto a corto como a largo plazo se extienden por diferentes afecciones ocasionando desde irritación de ojos y vías respiratorias, infecciones, congestión nasal, sinusitis, alergias, resfrío, tos, ronquera, faringitis, amigdalitis, laringitis, bronquitis, neumonía, asma, bronquiectasias, silicosis, asbestosis y hasta cáncer pulmonar, dolencias cardiovasculares y muertes prematuras entre otras.

Determinar los efectos de la contaminación del aire es sumamente complejo, ya que la asociación entre un contaminante y una enfermedad o una defunción puede ser más accidental que causal. Siempre que se quiera atribuir un efecto nocivo derivado de la exposición a algún contaminante del aire se deberá tomar en cuenta que la atmósfera es una mezcla compleja de sustancias que se encuentran en interacción entre sí y en interacción con factores meteorológicos. Por lo anterior muchas veces resulta difícil definir con precisión a que elemento de la compleja mezcla se debe atribuir un determinado fenómeno observado en la población ya que muchas veces el aumento en la concentración de uno de los contaminantes se asocia al aumento en la concentración de los demás, lo que hace difícil la interpretación de los resultados.

El momento de evaluar los efectos por contaminación, además de la concentración, de tiempo de exposición, del tipo de contaminantes presentes, de las fluctuaciones temporales en las concentraciones y los sinergismos entre contaminantes, un factor que

debe tomarse en cuenta es el relacionado a la variabilidad biológica y susceptibilidad frente a los efectos de los contaminantes. Afortunadamente para la mayoría de las personas saludables, los síntomas por ser expuestos a la contaminación del aire, se van tan pronto mejora la calidad del aire. Pero, algunos grupos de gente son más sensibles a los efectos de la contaminación que otros.

Numerosos estudios apuntan a que dichos efectos pueden tener lugar en niveles incluso por debajo de los permitidos por las normativas nacionales e internacionales. En realidad, según la OMS y otras organizaciones, no hay pruebas de que exista un umbral por debajo del cual la contaminación por partículas no provoque efectos adversos para la salud, especialmente entre los segmentos más sensibles de la población, es por esto que la OMS aun no plantea valores guía para los límites máximos permisibles de contaminación por PM<sub>10</sub><sup>3</sup>.

## 2 Antecedentes

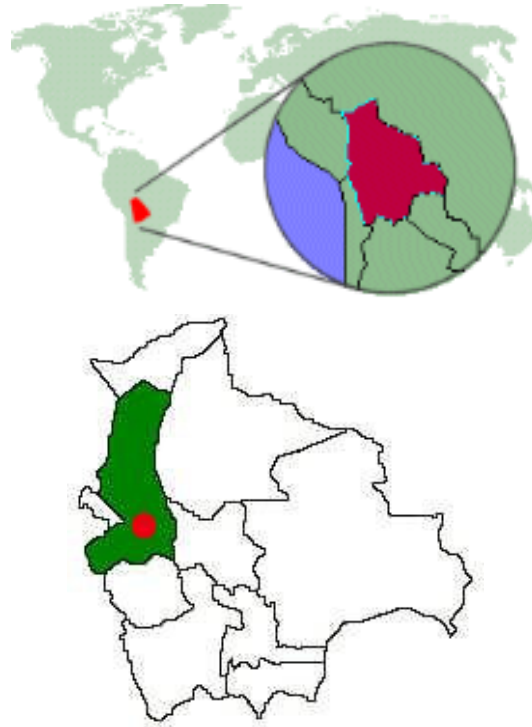


Figura 1: Ubicación del área de estudio.

---

<sup>3</sup> Límites máximos permisibles de contaminación por PM<sub>10</sub> para Bolivia:  
Prom. 24 hrs. → 150 µg/m<sup>3</sup>; Prom. anual → 50 µg/m<sup>3</sup>

En la ciudad de La Paz (3.650 m.s.n.m.) y Bolivia en general, se advirtió la insuficiencia o falta de información científica sobre el problema de la contaminación del aire <sup>4</sup>, también la insuficiencia y falta de datos permanentes y documentados sobre los cuales se puedan apoyar argumentos de concientización y educación de la población.

Aún cuando no existan antecedentes de episodios cruciales en la ciudad de La Paz, debido a las favorables características geográficas y meteorológicas y los niveles de contaminación no revisten características tan dramáticas como ocurre en otras urbes latinoamericanas, la situación es de todas maneras preocupante, ya que la exposición continua a niveles de contaminación moderadamente elevados o bajos, puede producir efectos muy peligrosos, especialmente si de PM<sub>10</sub> se trata. Los vientos se encargan además de dispersar los contaminantes, de modo que el efecto de los tóxicos emitidos se extiende hacia las áreas colindantes, en donde la contaminación acarreada se suma a la producida por las fuentes locales.

### 3 Desarrollo

Es así que durante los años 2003 y 2004 se ha desarrollado este proyecto, con el objeto de estudiar el comportamiento de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en la atmósfera de la zona central de la ciudad de La Paz y determinar el grado en que estas inciden sobre el número de visitas médicas por enfermedades de la población urbana vinculadas a este indicador de contaminación. Para tal efecto el año 2003 <sup>5</sup> se dispuso de tres Impactadores Harvard MiniVol (4 L/min) en tres zonas estratégicas de la ciudad y cuatro diferentes para el año 2004 <sup>6</sup>. Tomándose muestras de 24 h con una frecuencia mínima de 6 días, para el periodo entre Abril y Septiembre (22 semanas) del 2003 y una frecuencia de 7 días para los meses de Junio y Julio del 2004. Los filtros de membrana de teflón utilizados se sometieron a ensayos gravimétricos de laboratorio.

---

<sup>4</sup> Los estudios de material particulado PM10 en la ciudad de La Paz, previos a este trabajo de investigación son prácticamente nulos, con excepción de algunas experiencias puntuales de 2 o 3 días de monitoreo.

<sup>5</sup> Equipo de monitoreo gentilmente proporcionado en calidad de préstamo por la Fundación de Cooperación para el Desarrollo Técnico Swisscontact, instalaciones y equipo complementario del Instituto de Ingeniería Sanitaria (IIS) de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA)

<sup>6</sup> Monitoreos del Gabinete Municipal de Monitoreo Ambiental – Dirección de Calidad Ambiental – Convenio interinstitucional entre el Gobierno Municipal de La Paz y Swisscontact.



**Figura 2:** Impactador Harvard, Fuente: Aldunate, 2003.



**Figura 3:** Partículas PM<sub>10</sub>, Fuente: Aldunate, 2003.

Paralelamente se ha recabado, de tres hospitales (Instituto Nacional del Tórax, Hospital del Niño e Instituto Nacional de Oftalmología), información diaria acerca del número de visitas medicas causadas por diferentes enfermedades respiratorias e infecciones oculares que se presentaron durante estos periodos de tiempo.

Las afecciones consideradas implican enfermedades que se clasificaron de acuerdo a su localización en el organismo, es así que las enfermedades e infecciones oculares se clasificaron como “Ojos”, las enfermedades que involucran solamente las Vías Respiratorias Superiores se clasificaron como “VRS” y las enfermedades que llegan a involucrar hasta las Vías Respiratorias Inferiores se clasificaron como “VRI”. Adicionalmente se realizó una clasificación por grupos de edad.

El estudio e interpretación de la información compilada involucró un profundo análisis empleando procedimientos matemáticos y estadísticos (El análisis estadístico <sup>7</sup> se efectuó en “R” <sup>8</sup> ajustando un modelo de regresión Poisson). Los resultados se desarrollan a continuación:

---

<sup>7</sup> Desarrollado junto al Lic. Kjetil Halvorsen, docente de la carrera de Estadística de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA).

<sup>8</sup> R es un sistema para análisis estadísticos y gráficos, que tiene una naturaleza doble de programa y lenguaje de programación y es considerado como un dialecto del lenguaje S (Comprehensive R Archive Network –CRAN - <http://www.r-project.org>).

#### 4 Niveles de contaminación por PM<sub>10</sub>

Se registraron las mayores concentraciones de PM<sub>10</sub> a partir del la fiesta de San Juan, llegando incluso a igualar los límites máximos permisibles <sup>3</sup>, con valores desde 71 µg/m<sup>3</sup> en algunos puntos hasta 150 µg/m<sup>3</sup> en los mas críticos.



Figura 4: La quema de San Juan, Panorámica Zona Centro.

Los incrementos en los valores de concentración de PM<sub>10</sub> durante la fiesta de San Juan, en los años 2003 y 2004, corresponden a valores de elevación de 219 % y 275 % respectivamente, con referencia a los valores promedio de concentración de PM<sub>10</sub>, si la fiesta de San Juan no habría tenido lugar.

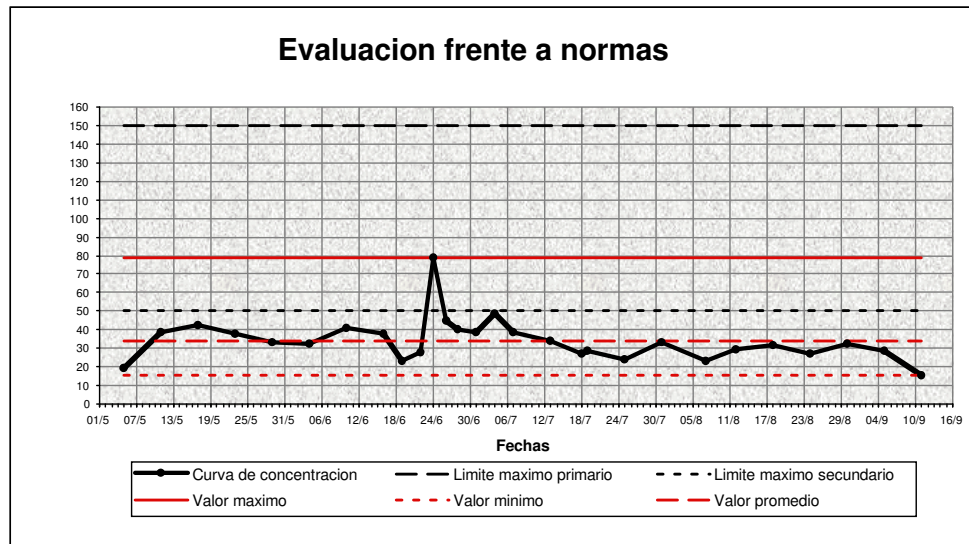


Figura 5: Niveles de concentración de PM<sub>10</sub> - 2003 Fuente: Aldunate, 2004.



Las partículas en suspensión que se despiden a la atmósfera como resultado de la quema en la fiesta de San Juan, permanecieron aproximadamente 4 a 5 días en sus niveles más altos y llegaron a su valor normal o promedio solamente después de 15 a 19 días después de la fiesta.

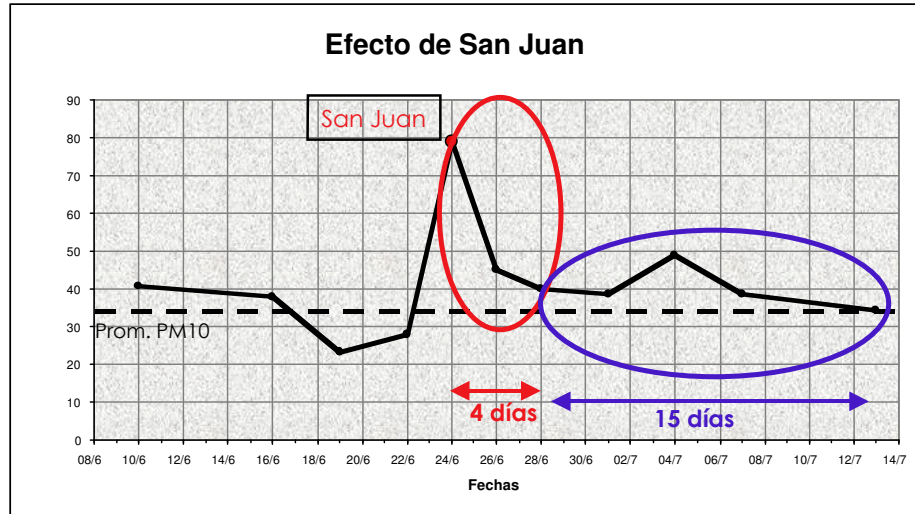
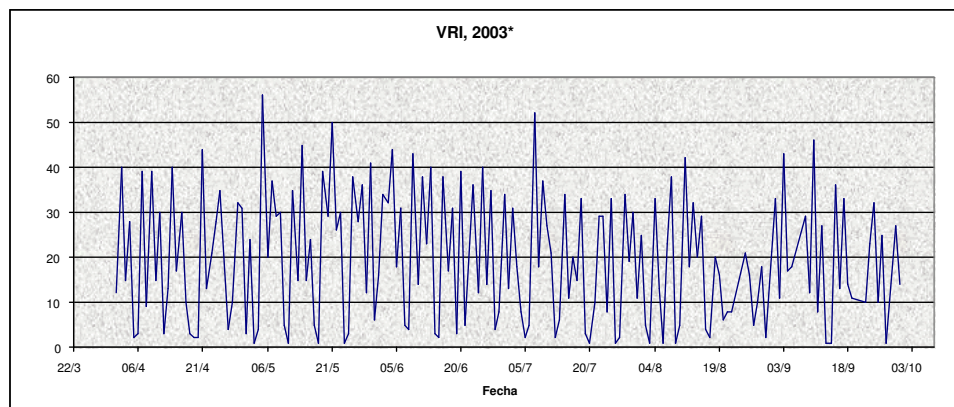
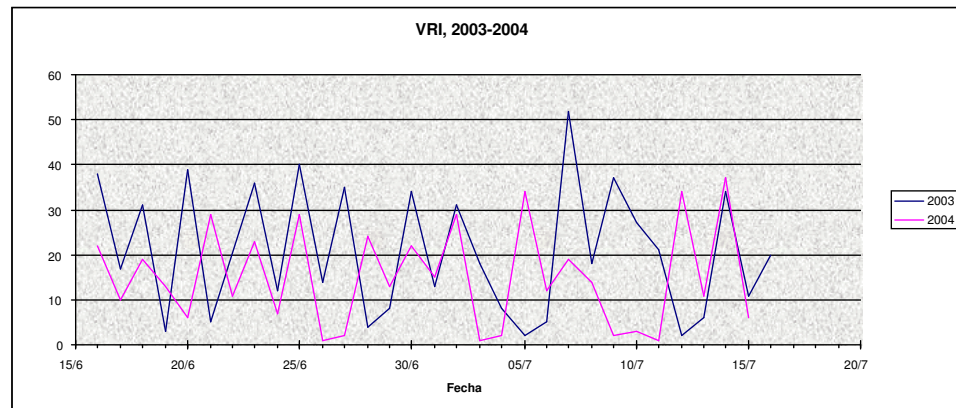


Figura 6: Efecto de la fiesta de San Juan (23, 24/Junio/2003) Fuente: Aldunate, 2004.

## 5 Enfermedades de las Vías Respiratorias Inferiores (VRI)

Durante los periodos en los que se llevó a cabo la investigación no se observaron cambios temporales significativos en el número de casos diariamente atendidos, es decir que el comportamiento general de las curvas independientes de número de casos es regular, sin embargo, al evaluar la variación del 2003 respecto del 2004, el número de casos atendidos el año 2004 es menor respecto del 2003, para casi todos los grupos de edad.





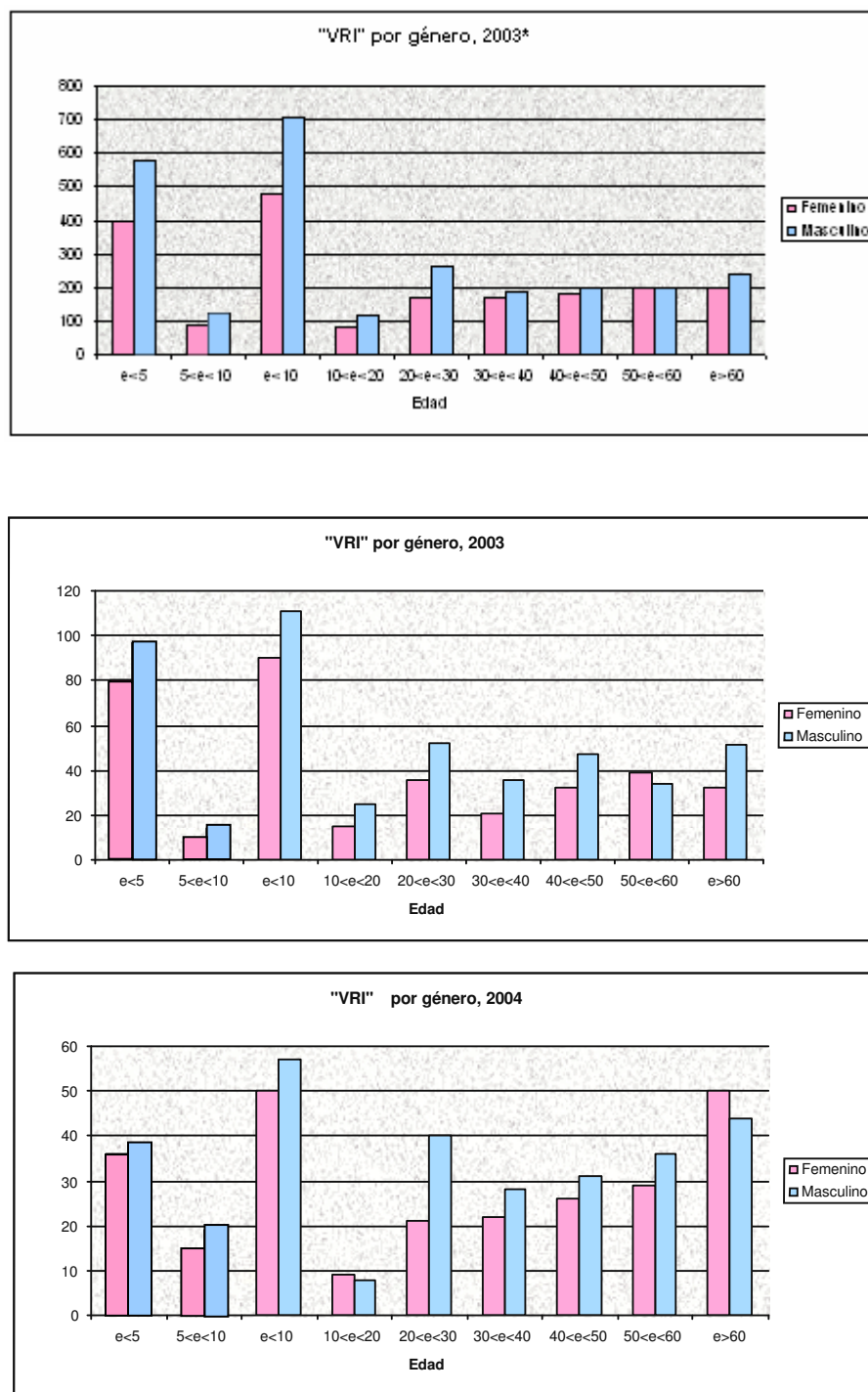
**Figura 7:** Series de tiempo para el número de casos de VRI, Fuente: Elaboración propia en base a datos del INT, INO y HN, Aldunate, 2004.

**NOTA:** Para VRI, VRS y OJOS, las series de tiempo denominadas “2003\*” corresponden al periodo de tiempo entre el 01/Abr/2003 y el 30/Sep/2003, las series de tiempo denominadas “2003” corresponden al periodo de tiempo entre el 15/Jun/2003 y el 15/Jul/2003 y las series de tiempo denominadas “2004” corresponden al periodo de tiempo entre el 15/Jun/2004 y el 15/Jul/2004.

**Tabla 1.** Número de casos de VRI registrados por grupo etáreo y por género

Grupo etáreo	VRI					
	2003*		2003		2004	
	F	M	F	M	F	M
e<5	395	579	80	97	36	38
5<e<10	86	125	10	14	14	19
e<10	481	704	90	111	50	57
10<e<20	82	121	15	25	9	8
20<e<30	173	265	36	52	21	40
30<e<40	169	190	21	36	22	28
40<e<50	183	197	32	47	26	31
50<e<60	199	197	39	34	29	36
e>60	197	244	32	51	50	44
<b>Totales</b>	<b>1484</b>	<b>1918</b>	<b>265</b>	<b>356</b>	<b>207</b>	<b>244</b>

Se presentó mayor la recurrencia de pacientes del sexo masculino durante ambos periodos de tiempo aunque este dato no es estadísticamente significativo



**Figura 8:** Número de casos de VRI registrados por grupo etáreo y por género

El efecto de PM<sub>10</sub> fue claramente significativo para VRI, el modelo estadístico predijo que después de un incremento de 20 µg/m<sup>3</sup> en las concentraciones de PM<sub>10</sub>, se esperan incrementos del 23% en el número de casos de VRI después de 12 días.

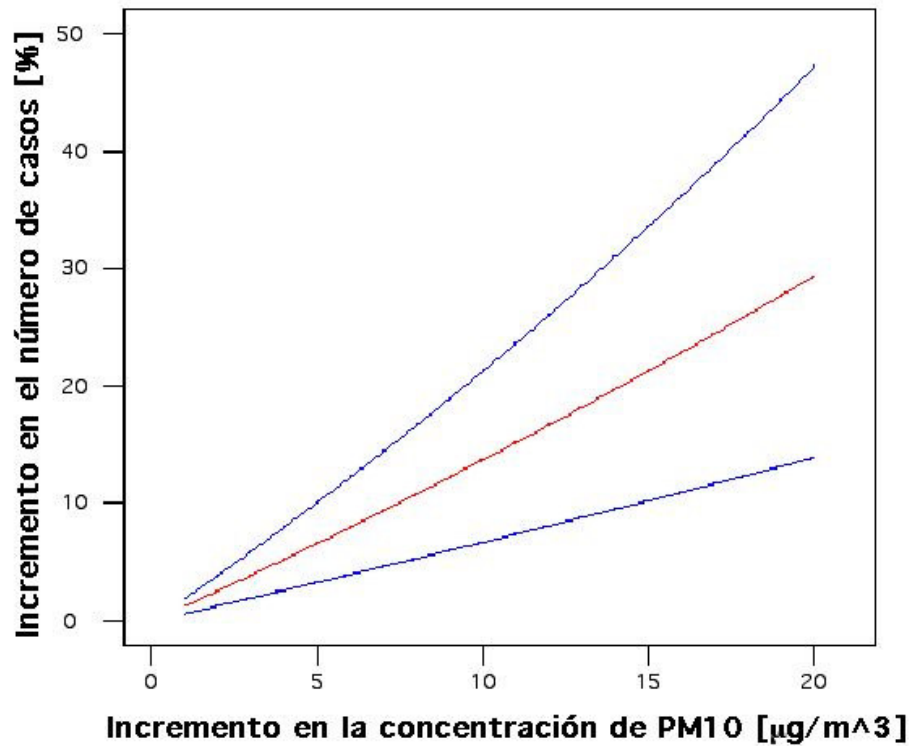
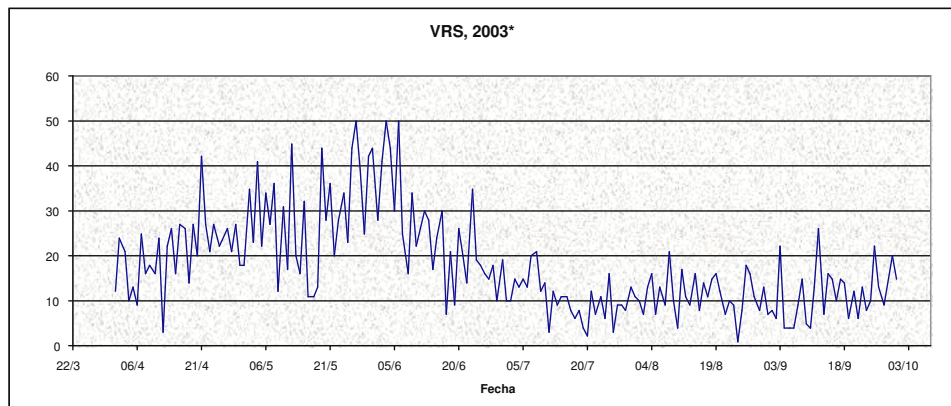


Figura 9: El efecto multiplicativo en VRI transcurridos 12 días, para varios grados de cambio en las concentraciones de PM<sub>10</sub> (Mayores de 5 años).

### 6. Enfermedades de las vías respiratorias superiores (VRS)

Se observó una marcada temporalidad en el número de casos, que fueron incrementándose desde fines de Abril hasta principios de Junio (Hasta 50 casos/día). A mediados de Junio se presentó una reducción del numero de casos hasta fines de Julio (Aproximadamente 10 casos/día).



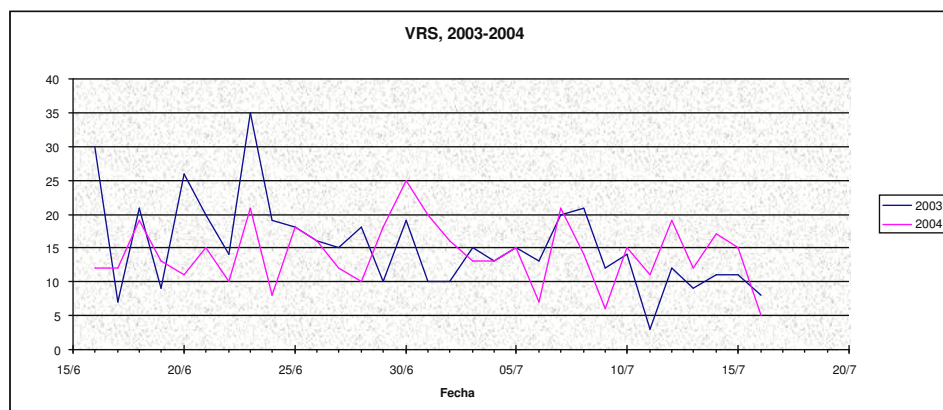
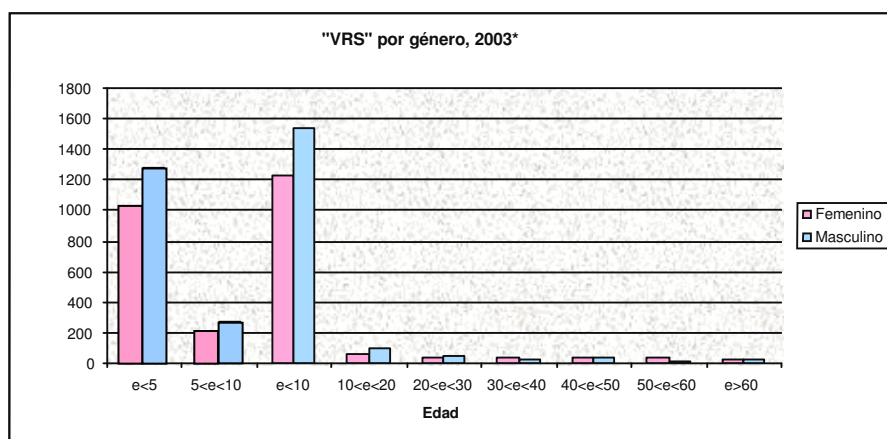


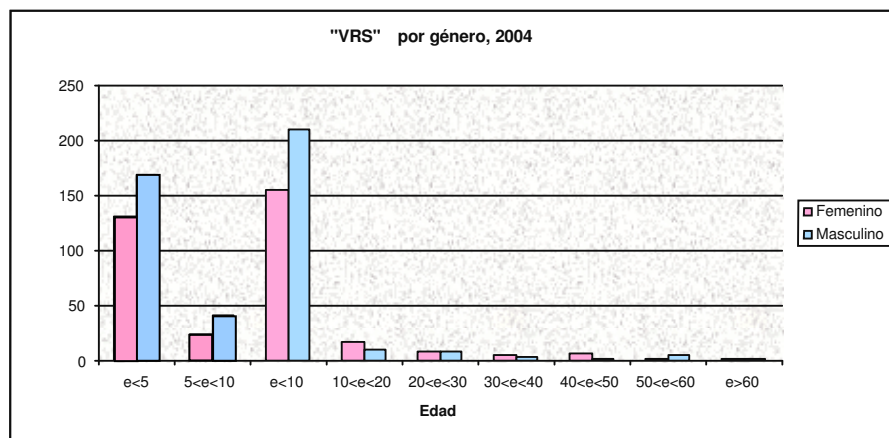
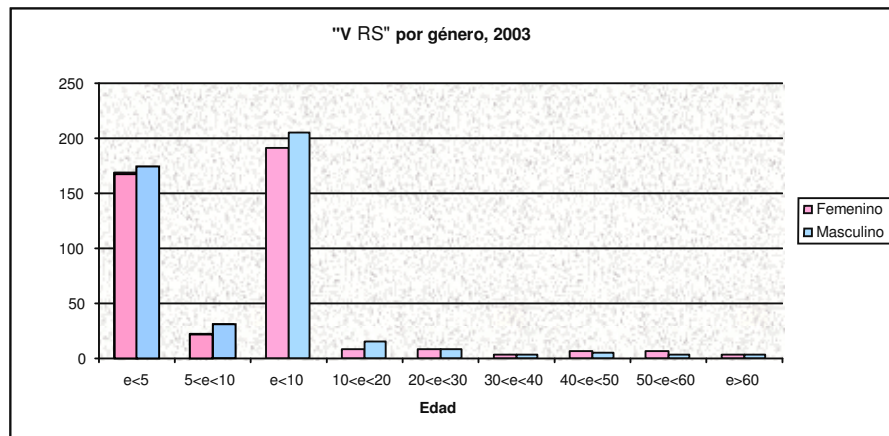
Figura 10: Series de tiempo para el número de casos de VRS

Tabla 2. Número de casos de VRS registrados por grupo etáreo y por género

Grupo etáreo	VRS					
	2003*		2003		2004	
	F	M	F	M	F	M
e<5	1028	1274	169	174	131	169
5<e<10	205	267	23	31	25	41
e<10	1233	1541	192	205	156	210
10<e<20	68	95	8	15	17	10
20<e<30	33	44	9	8	9	9
30<e<40	36	28	4	4	6	3
40<e<50	41	33	7	5	7	2
50<e<60	34	16	7	3	1	6
e>60	21	20	3	4	2	1
<b>Totales</b>	<b>1466</b>	<b>1777</b>	<b>230</b>	<b>244</b>	<b>198</b>	<b>241</b>

Se advirtió, que el mayor número de casos se presentó en niños menores de 5 años. Al igual que en el grupo de VRI fue mayor la recurrencia, de pacientes del sexo masculino aunque este dato no es estadísticamente significativo.

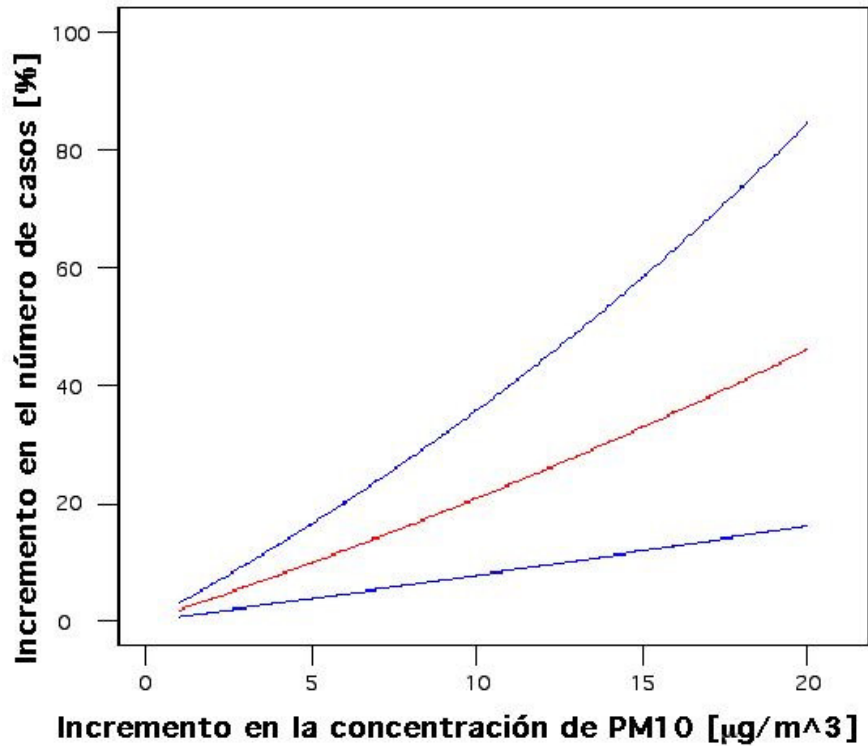




**Figura 11:** Número de casos de VRS registrados por grupo etáreo y por género

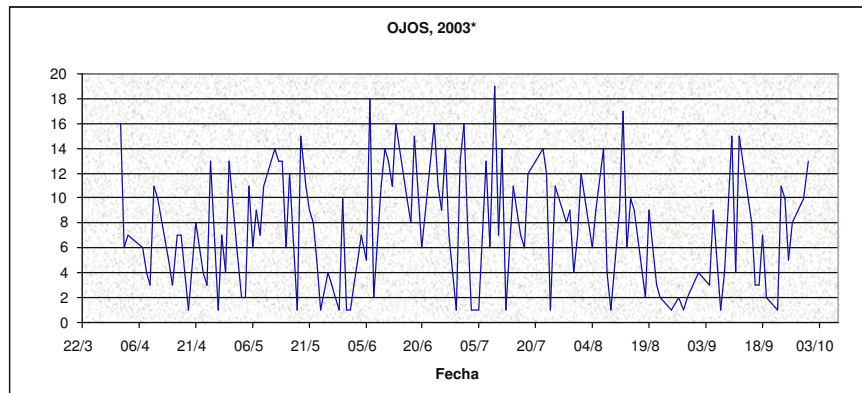
El efecto de  $PM_{10}$  fue significativo, si por un período sustento de 12 días o más, las concentraciones de  $PM_{10}$  se incrementan a razón de  $1\mu g/m^3$  día, entonces el número esperado de casos se incrementa a razón de 2.8 % (Acumulado) por día. En un análisis para niños menores de 5 años de edad, los resultados sugirieron que  $PM_{10}$  no es significativo, pero existe indicación de que un aumento de  $1\text{ }^\circ C$  en la temperatura media (Del mismo día) ocasionaría un aumento de 22 % en el número de casos de VRS. Para el grupo de población de mayores de 5 años de edad, el efecto de la contaminación por  $PM_{10}$  fue muy importante, ya que el modelo indicó que existirían incrementos del 46 % en el número de casos de estas enfermedades por cada  $20\mu g/m^3$  de incremento en las concentraciones de  $PM_{10}$ . Así mismo se ha detectado que el efecto de un incremento de  $1\text{ }^\circ C$  en la temperatura media ambiente del mismo día ocasionaría incrementos de 9.5 % en el número de casos de VRS.





## 7 Enfermedades e infecciones oculares (OJOS)

El número de casos de este tipo de enfermedades no presentó ninguna temporalidad ni regularidad. No obstante, los días con mayor recurrencia de pacientes con problemas de infecciones oculares se presentaron a principios de Junio, principios de Julio y mediados de Agosto. El mayor número de casos fueron atendidos en pacientes menores de 10 años.



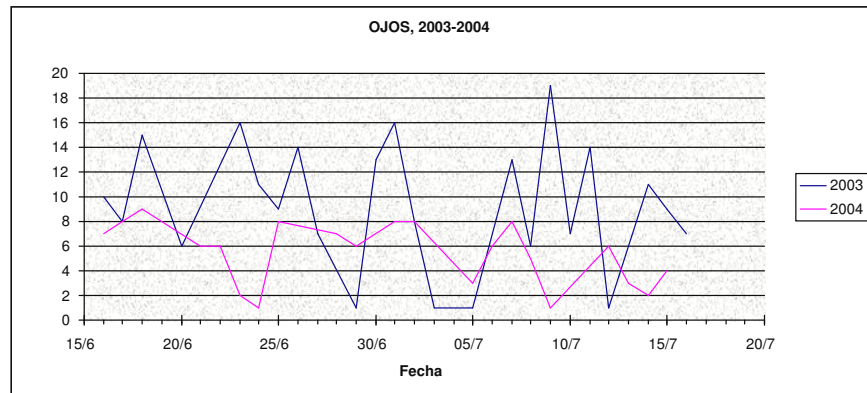
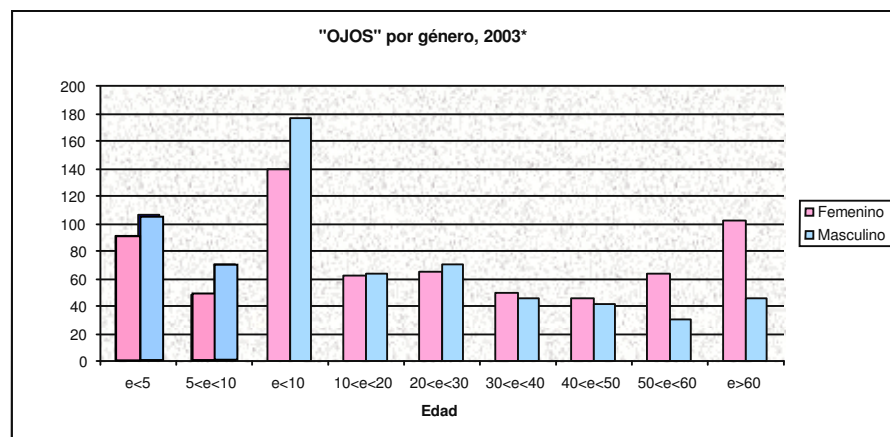


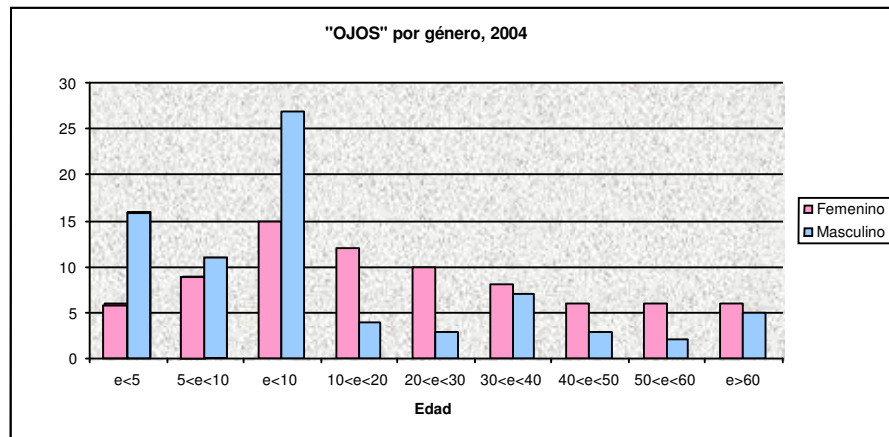
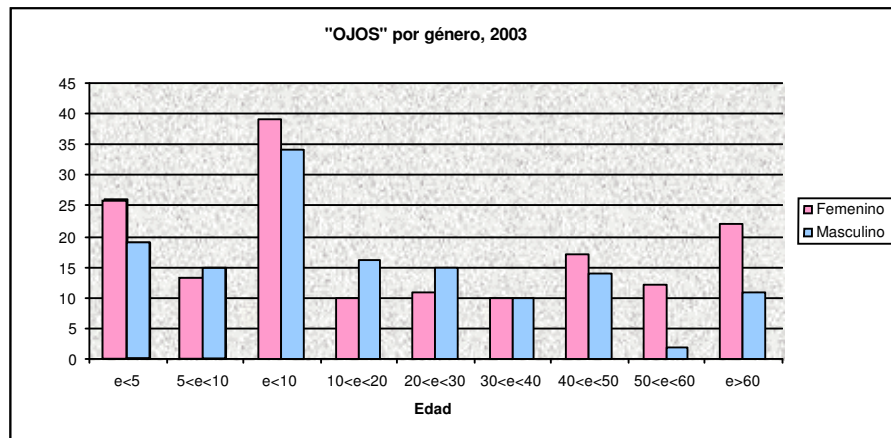
Figura 12: Series de tiempo para el número de casos de OJOS

Tabla 3. Número de casos de OJOS registrados por grupo etáreo y por género

Grupo etáreo	Ojos					
	2003*		2003		2004	
	F	M	F	M	F	M
e<5	91	106	26	19	6	16
5<e<10	48	70	13	15	9	11
e<10	139	176	39	34	15	27
10<e<20	62	63	10	16	12	4
20<e<30	65	71	11	15	10	3
30<e<40	50	45	10	10	8	7
40<e<50	46	41	17	14	6	3
50<e<60	64	30	12	2	6	2
e>60	102	45	22	11	6	5
<b>Totales</b>	<b>528</b>	<b>471</b>	<b>121</b>	<b>102</b>	<b>63</b>	<b>51</b>

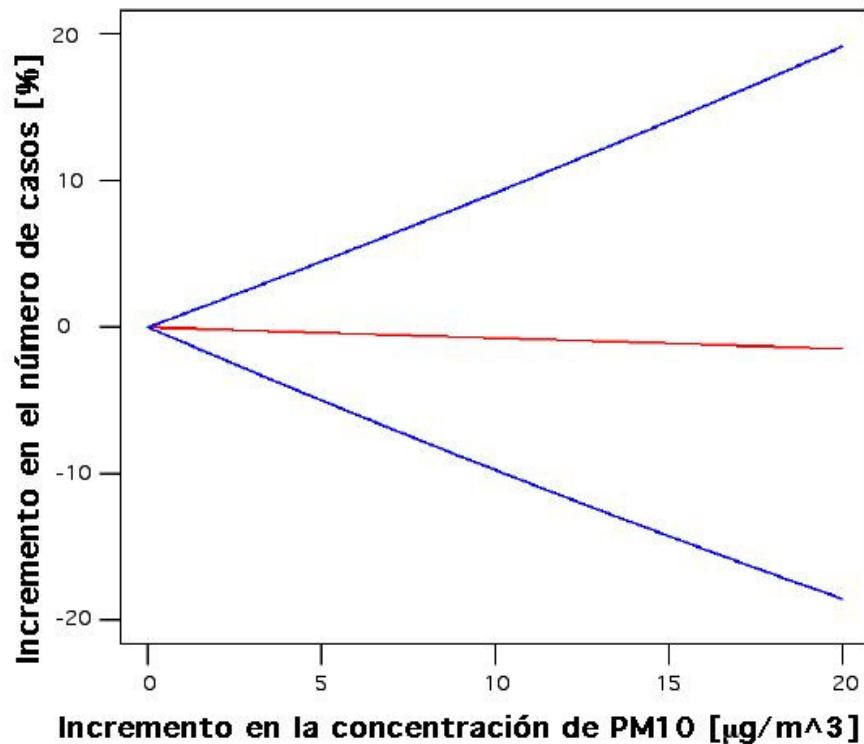






**Figura 13:** Número de casos de OJOS registrados por grupo etáreo y por género

El análisis estadístico no indicó ningún efecto significativo o importante de PM<sub>10</sub> en enfermedades o infecciones oculares.



**Figura 14:** El efecto multiplicativo en OJOS, para varios grados de cambio en las concentraciones de PM<sub>10</sub>.

## 8 Conclusiones

En conclusión, si existió un incremento significativo en el número de visitas médicas por enfermedades de las vías respiratorias superiores e inferiores, debido al efecto de los incrementos en las concentraciones de PM<sub>10</sub> en el centro de la ciudad de La Paz, aún cuando las concentraciones no superaron los valores límite establecidos<sup>3</sup>.

Otros efectos en la salud ocasionados por el PM<sub>10</sub> son: dificultad para respirar, tos, ronquera y ardor en los ojos, problemas que no necesariamente ocasionan una visita médica por parte de la población afectada.

Se advirtieron deficiencias de funcionamiento en el modelo estadístico (Residuales muy grandes), sobre el grupo de la población de menores de 5 años, esto se pudo deber a factores que no se tomaron en cuenta para los análisis y que interfirieron en el comportamiento epidemiológico de este grupo en particular.

Es necesario recordar que el valor de concentración de PM<sub>10</sub> medido en las estaciones de monitoreo de PM<sub>10</sub> no es en realidad la dosis exacta de contaminación a la que estuvo expuesta cada persona en particular y que determinó el efecto en su salud, por lo tanto lo que empleó el modelo fue una dosis promedio.

La próxima tabla especifica el resumen de los resultados obtenidos detallando la siguiente información por columnas:

Primera columna - Grupos de enfermedades de acuerdo a su clasificación,

Segunda columna - Grupos etareos considerados mas importantes,

Tercera columna - Incremento en las concentraciones de PM<sub>10</sub>.

Cuarta columna - Incremento porcentual calculado, en el número de casos de los diferentes grupos considerados, con sus respectivos intervalos de confianza entre paréntesis, en función de los valores de la tercera columna.

Quinta columna - Cantidad de días de retraso en que se presentan los incrementos de la cuarta columna respecto de los incrementos de la tercera columna.

Sexta columna - Incremento en la temperatura media ambiente.

Séptima columna - Incremento porcentual calculado, en el número de casos de los diferentes grupos considerados, con sus respectivos intervalos de confianza entre paréntesis, en función de los valores de la sexta columna.

Octava columna - Cantidad de días de retraso en que se presentan los incrementos de la séptima columna respecto de los incrementos de la sexta columna.

**Tabla 4.** Tabla resumen del efecto multiplicativo en los diferentes grupos de enfermedades, para 20 µg/m<sup>3</sup> de cambio en las concentraciones de PM<sub>10</sub>

Grupo de enfermedades	Grupo etáreo	Efectos de la contaminación por PM <sub>10</sub>			Efectos de la oscilación de temperatura media ambiente		
		Incremento en PM <sub>10</sub>	Incremento en N° de casos	Lagg	Incremento en T med	Incremento en N° de casos	Lagg
		µg/m <sup>3</sup>	%	días	°C	%	días
VRI	Todos	20	23 (11 a 37)	12	---	---	---
	< 5	20	8 (-17 a 41)	12	---	---	---
	>5	20	31 (14 a 47)	12	---	---	---
VRS	Todos	1	2,8	1	---	---	---
	< 5	20	24 (-7 a 63)	12	1	22 (11 a 33)	0
	>5	20	46 (15 a 85)	12	1	9,5 (2 a 17)	0
OJOS	Todos	---	---	---	---	---	---
	< 5	---	---	---	---	---	---
	>5	---	---	---	---	---	---

## 9 Recomendaciones

Para llegar a resultados muy representativos, es recomendable que este tipo de estudios sea realizado por periodos de tiempo prolongados (Mínimo 4 o 5 años). De esta manera se puede establecer efectos no solamente por exposiciones agudas a altos niveles de contaminación, si no también efectos por exposiciones prolongadas a relativamente bajos niveles de exposición, situación que en muchos casos resulta más peligrosa que la primera. Además, se recomienda incrementar la frecuencia de muestreo tanto como lo permitan los recursos técnicos y económicos o tanto como lo permitan los equipos de monitoreo, optimizando así los análisis "Contaminación Vs. Numero de casos". Finalmente es necesario trabajar con un mayor número de centros hospitalarios y de salud.

## 10 Agradecimientos

Se agradece a los profesionales de las siguientes entidades que aportaron para el desarrollo de esta investigación (Nombramiento en orden alfabético): Carrera de estadística (UMSA), Dirección de Calidad Ambiental (GMLP), Hospital el Niño, Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (UMSA), Instituto Nacional de Oftalmología, Instituto nacional del Tórax, Programa Nacional de Cambio Climático, Red MoniCA Bolivia, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y Swisscontact.

## Referencias

- [1] Alley E. Roberts & Associates Inc. *Manual de control de la calidad del aire*. 2001. México
- [2] Cantoni E., Ronchetti E. *Robust inference for generalized linear models*. Journal of the American Statistical Association. 2001.
- [3] Cortez M. *Efecto de la exposición a partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> sobre la frecuencia y severidad de las exacerbaciones en los enfermos pulmonares obstructivos crónicos*. 2002. México.
- [4] COSUDE – SWISSCONTACT. *Manual de laboratorio. Monitoreo del aire*. 2001.
- [5] Departamento de Calidad Ambiental de Arizona. *Estudio de la calidad del aire en ambos nogales: Los riesgos de los contaminantes peligrosos del aire y las partículas atmosféricas para la salud humana*. 1999. USA, México.
- [6] Environmental Protection Agency. *Code of federal regulations, title 40 (Protection of environment). Parts 50, 53 and 58*. 2002. U.S.A.
- [7] Espinoza C., Rodríguez D. y Ulriksen P. *Epidemiología ambiental*. Universidad de Chile. Departamento de Ingeniería Civil. 2002. Chile.
- [8] Farreras, Rozman. *Medicina interna*. 1992. España.
- [9] Glynn H., Heinke G. *Ingeniería ambiental*. 1999. México.
- [10] Gutiérrez, Víctor. *Proyecto de monitoreo ambiental, microambiental y de exposición personal a PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en la ZMCM*. CENICA. 2002. México.

- [11] Harcourt. *Manual Merck de diagnóstico y terapéutica*. 10 Ed.
- [12] Hernández L., Téllez M., Sanín L., Lacasaña M., Campos A., Romieu I. *Relación entre consultas y urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en ciudad Juárez, Chihuahua*. Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria. 2000. México.
- [13] Lindsey J. *Applying Generalized Linear Models*. Springer. 1999.
- [14] Martines P., Romieu I. *Introducción al monitoreo atmosférico*. 1997. México.
- [15] McCullagh P. & Nelder J. A. *Generalized Linear Models*. 1990.
- [16] Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Secretaría Nacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Subsecretaria de Medio Ambiente. *Reglamentación de la ley del medio ambiente*. 1995. Bolivia
- [17] Nevers N. *Ingeniería del control de la contaminación del aire*. 1998. México.
- [18] R Development Core Team. R Foundation for Statistical Computing. *R: A language and environment for statistical computing*. 2004. Austria
- [19] Seber G. A. F. *Linear regression analysis*. John Wiley & Sons. 1977.
- [20] Terrés S., Méndez M., Hernández T., Martínez M. *Contaminación atmosférica e infección respiratoria en la Ciudad de México*. 1996. México.