

Evaluación preliminar del impacto de la contaminación atmosférica en la salud de la población de la ciudad de Cochabamba

Marcos Luján Pérez

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana
Av. General Galindo s/n, Cochabamba, Bolivia

e-mail: lujan@ucbcba.edu.bo

Resumen

A partir de información generada por la red de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Cochabamba (Red MoniCA) e información epidemiológica generada por instancias de gobierno y estudios independientes, se utilizó el programa AirQ para evaluar el impacto de la contaminación del aire en la salud de la población de la ciudad de Cochabamba en los años 2005, 2006 y 2007. Se pudo evidenciar que los contaminantes que más afectan a la salud de la población son el material particulado suspendido con diámetro menor a 10 micras (PM_{10}) y el ozono troposférico. Si el nivel de contaminación por estas sustancias se redujera al nivel de los valores umbral de efecto en la salud, se podrían reducir al año: 5% (245) de las muertes, 8,5% (10.020) de casos de IRA, 14,6% de los casos de bronquitis en menores de 15 años, 20,7% de ataques de asma en niños y 2,3 % casos de asma en adultos. Estos valores muestran un impacto importante en la salud y calidad de vida de la población de esta ciudad. Por ello, consideramos absolutamente necesario el implementar, en el menor plazo posible, un plan de acción para la reducción de la contaminación atmosférica en la ciudad de Cochabamba

Palabras clave: Contaminación atmosférica, Cochabamba, impacto en la salud, ozono troposférico, material particulado PM_{10} .

1 Introducción

El impacto negativo de la contaminación atmosférica sobre la salud se hizo patente en el siglo XX, debido a algunos episodios de contaminación atmosférica que sucedieron en diferentes ciudades del planeta como en Londres, en varias ocasiones (1873, 1911 y 1952), o el ocurrido en el valle de la Meuse en 1930 y el ocurrido en Donora en 1942 [10]. Durante estos episodios de contaminación, miles de personas fallecieron o cayeron enfermas por causa de la contaminación del aire. Estos episodios despertaron la preocupación de los gobiernos e instituciones encargadas de la

protección de la salud pública y, en consecuencia, se ha generado toda una serie de medidas legales y reglamentaciones orientadas al control de la contaminación del aire.

Sin embargo, a pesar de los progresos que se han hecho sobre el control de las emisiones contaminantes, la contaminación del aire sigue siendo una de las principales causas ambientales de riesgo para la salud en el mundo, después de la falta de agua potable, salubridad e higiene. En su reporte del año 2002 sobre la salud mundial, la Organización Mundial de la Salud [18] estima que 2,4 millones de personas mueren al año por causas relacionadas con la contaminación atmosférica en interiores y exteriores; esto significa el 4,2% de la mortalidad total. El mismo reporte estima que sólo la contaminación por material particulado es responsable de unas 800.000 muertes al año (1,4%) en todo el mundo, además de contribuir significativamente a la morbilidad de ciertas enfermedades.

Lo más preocupante de esta situación es que la incidencia de la contaminación en la salud de la población es mayor en los países pobres. En Latinoamérica los mayores impactos se presentan en algunas metrópolis que tienen varios millones de habitantes [5]; sin embargo, debido al crecimiento del parque automotor, de las actividades industriales y el aumento de población, muchas ciudades de tamaño medio, tienen niveles de contaminación atmosférica con alto riesgo para la salud de su población y con tendencia a elevarse rápidamente [6] [12]. De hecho, a medida que se resuelven los problemas de provisión de agua potable, salubridad e higiene en los centros urbanos, la contaminación del aire se está convirtiendo en la principal causa de riesgo ambiental para la salud en áreas urbanas. Además del impacto en la salud, la contaminación del aire afecta también la economía de la población; un estudio realizado sobre las ciudades de Sao Paulo, México y Santiago estima las pérdidas económicas entre varias decenas y varios cientos de millones de dólares al año [7].

En la ciudad de Cochabamba se está midiendo la contaminación del aire desde el año 2000, mediante una red de monitoreo implementada gracias a un convenio entre la Cooperación Suiza para el Desarrollo Técnico (Swisscontact), el Gobierno Municipal del Cercado y la Universidad Católica Boliviana San Pablo [12]. Esta red se la ha denominado la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire (Red MoniCA) y utiliza métodos de monitoreo pasivo, activo y automático. Las mediciones de esta red muestran claramente que la contaminación del aire está en aumento, a pesar de algunas medidas de mitigación, como la conversión de los vehículos a gasolina al uso de gas natural. El aumento del tráfico vehicular, del número de vehículos, el caos del tráfico urbano y el aumento de la población, están incidiendo en el aumento de la contaminación. Los contaminantes que regularmente superan las normas establecidas en el Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica [8] y los valores guía de la OMS [17] son el material particulado (PM_{10}) y el ozono [12].

A pesar del creciente riesgo para la salud por la contaminación del aire, pocos son los estudios sobre este tema que se hayan hecho en Bolivia. Entre los años 2004 y 2005 se realizó un estudio que evaluó el impacto en la salud de los niveles de NO_2 y O_3 en la ciudad de Cochabamba [4]; el año 2004 se realizó un estudio sobre el impacto de

material particulado sobre enfermedades respiratorias en la ciudad de La Paz [2]. Ambos estudios muestran un efecto significativo de la contaminación sobre la salud de la población, sobre todo en los niños menores de 5 años y los ancianos. En ambos casos, los autores de estas investigaciones tropezaron con la dificultad de no contar con información epidemiológica confiable y con información sobre contaminación insuficiente en cantidad y en calidad para el análisis y valoración del riesgo de la contaminación para la salud de la población. Esto puede haber incidido en la confiabilidad de los resultados obtenidos y la veracidad de las conclusiones a las que se llegaron.

En el presente estudio se pretende cuantificar el impacto de la contaminación atmosférica en la ciudad de Cochabamba sobre la mortalidad total y la morbilidad de algunas patologías asociadas a la contaminación del aire. Debido a que la información epidemiológica no tiene el detalle suficiente, se ha decidido utilizar un método de cuantificación adaptado a la disponibilidad de información. En concreto hemos utilizado el software AirQ (versión 2.2) [1] para realizar esta cuantificación, sobre la base de los datos obtenidos por la red MoniCA y la información epidemiológica disponible en instituciones competentes y datos de la literatura. La metodología utilizada por este software se basa en la estimación de la proporción atribuible utilizando valores de factores de riesgo relativo medidos en otros estudios. El método se explica con más detalle en el siguiente punto.

2 Metodología para la cuantificación del impacto en la salud

La cuantificación del impacto de la contaminación del aire en la salud de la población es un tema complejo que ha sido abordado de diferentes maneras.

Por una parte se realizan estudios toxicológicos en los que se exponen organismos, en condiciones controladas, a diferentes niveles de concentración o dosis de los contaminantes del aire; se analiza la respuesta tóxica de estos organismos frente a la exposición y se establece lo que se llama una curva de dosis respuesta para el contaminante en estudio [6]. Estos estudios permiten determinar una serie de parámetros entre los cuales tenemos el NOAEL (*Non Observable Effect Level*) que indica el nivel mínimo hasta el cual no se observa un efecto tóxico del contaminante. Este valor sirve como referencia para determinar el valor permisible de concentración para un contaminante. En general estos estudios se hacen con animales y luego los datos son extrapolados a los seres humanos. Esta extrapolación introduce cierta incertidumbre en cuanto a la relación dosis respuesta en los seres humanos, pues la reacción del humano puede ser diferente a la del animal en el que se hizo el estudio [9]. Sin embargo, estos estudios permiten obtener información sobre la sintomatología del efecto tóxico de un contaminante.

Otra opción son los estudios epidemiológicos en los que se analiza, por métodos estadísticos, el efecto tóxico que tiene un contaminante sobre una población que está expuesta al mismo [15] [19]. Estos estudios permiten establecer la correlación entre los niveles de exposición de la población a un contaminante y el incremento en la incidencia

de un cierto efecto tóxico en la salud de esa población. Los datos de incidencia de diversas patologías en la salud de la población, se obtienen de la información estadística generada por las instituciones de salud pública competentes y la información sobre los niveles de exposición a contaminantes atmosféricos, se obtienen de los datos generados por las redes de monitoreo de la calidad del aire.

Para los casos en que no se cuenta con mucha información sobre la contaminación atmosférica y sobre la incidencia de enfermedades asociadas a la contaminación, lo más recomendable es utilizar una metodología simple que parte de la información sobre los niveles de contaminación, expresada en indicadores de contaminación conocidos y de información básica de la incidencia de ciertas enfermedades y de la mortalidad total.

Para facilitar el empleo de esta metodología, el programa HIAAP, por sus siglas en inglés de *Health Impact Assessment of Air Pollution*, ejecutado por la División Bilthoven de la OMS, ha desarrollado un software, el AirQ [1], que permite estimar el impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población, a partir de datos sobre la exposición de la población de un área urbana definida y por un periodo de tiempo definido, generalmente un año, a un contaminante dado [16] [19].

La estimación que realiza el programa AirQ se basa en el cálculo de la proporción atribuible (PA), para un determinado efecto en la salud, debido a la exposición de la población a un contaminante específico, por un tiempo determinado. De esta manera se puede estimar la mortalidad total anual de la población expuesta y la morbilidad de diversas enfermedades o afecciones a la salud que pueden ser atribuidas a la contaminación atmosférica.

Para el cálculo de la fracción atribuible, el programa AirQ utiliza la ecuación propuesta por Krzyzanowski [16],

$$PA_i = \frac{\sum [RR(c)_i - 1] \cdot p(c)_i}{\sum RR(c)_i \cdot p(c)_i} \quad (\text{ec. 1})$$

En esta ecuación, $RR(c)_i$ es el riesgo relativo para la categoría (c) de exposición al contaminante i , $p(c)_i$ es la proporción de la población en la categoría (c) de exposición. La suma se aplica sobre todas las categorías de exposición.

Los valores de $RR(c)_i$ para cada categoría de exposición y para cada contaminante se pueden obtener a partir de estudios previos de la relación exposición-respuesta de cada contaminante considerado, en la población de estudio. Sin embargo, si no se contaran con estos estudios, la mejor opción es utilizar los valores proporcionados por la OMS a partir de una serie de estudios realizados en todo el mundo [16]. Estos valores están incluidos por defecto en el mismo programa AirQ. La distribución de la población en las diferentes categorías de exposición $p(c)_i$ se establece a partir de la información sobre contaminación atmosférica, generada por la red de monitoreo de la calidad del aire. Los valores de $RR(c)_i$ no solamente son específicos para cada contaminante, sino también son específicos para cada indicador de contaminación, por ejemplo: el valor de $RR(c)_i$ será distinto para el máximo diario de 1 h de ozono que para el máximo diario de

8 h. Esta situación exige que se calcule un valor de PA_i para cada contaminante y para cada indicador específico de contaminación del aire. El modelo no puede establecer una relación de causalidad directa y tampoco puede analizar efectos sinérgicos que se pueden producir por la presencia de varios contaminantes en la atmósfera.

Si se conoce la incidencia global (I) de alguna afección a la salud de la población, se puede calcular la incidencia atribuible a la exposición de la población a un contaminante dado (IE_i) mediante la siguiente ecuación:

$$IE_i = I \cdot PA_i \quad (\text{ec. 2})$$

La información sobre la incidencia de alguna afección a la salud en la población, se la obtiene de datos estadísticas elaborados por las instituciones pertinentes. Lamentablemente, en la ciudad de Cochabamba no existe mucha información sobre la incidencia de diversas patologías que afectan a la población y que están relacionadas con la contaminación del aire.

Para una población de tamaño N , el número de casos atribuibles (NE_i) a la exposición de la población a un determinado contaminante i puede estimarse mediante la ecuación:

$$NE_i = IE_i \cdot N \quad (\text{ec. 3})$$

En Bolivia existen pocos estudios orientados a determinar los factores de riesgo relativo (RR) para los contaminantes que se miden. Esto debido esencialmente a que no se cuenta con información de calidad sobre la incidencia de afecciones a la salud de la población, relacionadas con la contaminación atmosférica. Por otra parte, si bien existe información sobre los principales indicadores de contaminación gracias a la información generada por las redes de Monitoreo de la Calidad del Aire, ésta información tiene algunas falencias de calidad y completitud para realizar estos estudios. A nuestro conocimiento, existen dos estudios, realizados en la ciudad de Cochabamba, que analizaron la correlación entre la contaminación por NO_2 y O_3 y afecciones a la salud de la población [3][4], sin embargo los valores de riesgo relativo obtenidos en estos trabajos tienen errores relativos muy grandes. Dada esta falta de información confiable sobre valores de los factores de riesgo relativo en Cochabamba, en este estudio se decidió utilizar los valores de riesgo relativo propuestos por defecto por la OMS [16] y que se encuentran en el programa AirQ. Lamentablemente, no se cuenta con factores de riesgo relativo que relacionen todos los indicadores de contaminación medidos con los impactos en la salud considerados, es una falencia que habrá que superar con futuros estudios sobre el impacto de la contaminación del aire en la salud.

3 Metodología

En el programa AirQ, los datos de entrada más importantes son: los niveles de concentración de contaminantes y parámetros usualmente utilizados como indicadores de la contaminación del aire, e información sobre la incidencia en la población en estudio de diferentes patologías asociadas a la contaminación del aire.

Los datos de contaminación del aire fueron obtenidos a partir de las mediciones que realiza la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de la ciudad de Cochabamba (Red MoniCA). Esta red cuenta con equipos de monitoreo automático de la línea API Teledyne. Con estos equipos se miden valores de la contaminación por NO₂, O₃, CO y SO₂ cada 15 minutos de manera permanente. La contaminación por material particulado se mide con impactadores Harvard que miden promedios diarios de PM₁₀, pasado un día.

Como datos de entrada en el programa AirQ, se utilizaron las mediciones NO₂ y O₃ realizadas en la estación de monitoreo ubicada en los predios de SEMAPA, en la zona norte de la ciudad de Cochabamba, durante los años 2005, 2006 y 2007. Para los valores de PM₁₀, se utilizaron los valores medidos en las estaciones de Jaihuayco (zona sur) el año 2005 y Parque Kanata (centro norte), durante los años 2006 y 2007. Los valores de SO₂ corresponden a los valores medidos en la estación de Plaza Colón, el año 2005, y la estación de Parque Kanata, los años 2006 y 2007. En general los datos cumplen con los criterios de completitud que exige el programa AirQ para el cálculo de los parámetros de contaminación utilizados [16], sólo en el caso de las mediciones de PM₁₀ para el 2005 y 2007, no se cuenta con el número mínimo de datos requerido al año (183), pero de todas maneras se incluyeron esos datos en el estudio. En la tabla 1 se muestra un resumen de los indicadores de contaminación, sus valores promedio anuales y el número de datos válidos utilizados en este estudio.

La información sobre mortalidad y morbilidad se obtuvo de datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) [11] y a partir de estudios previos sobre el impacto de la contaminación del aire en la salud de la población, realizados en la ciudad de Cochabamba [3] [4]. Lamentablemente no existe mucha información sobre la incidencia de varias patologías, y sobre valores de riesgo relativo (RR), por ello se tomaron en cuenta solamente los siguientes efectos en la salud: mortalidad total, infecciones respiratorias agudas (IRAs), enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC), ataques de asma en niños menores de 5 años y ataques de asma en adultos.

Otro parámetro importante en las estimaciones de impacto que calcula el AirQ es el valor de umbral de toxicidad que se debe utilizar para los diferentes parámetros de contaminación del aire. Lamentablemente el mismo programa no sugiere ningún valor para el umbral, lo que sería deseable pues el valor de umbral de toxicidad influye mucho en los resultados que se obtienen con el programa. En este estudio se decidió tomar como valor umbral, la mitad del valor guía propuesto por la OMS para cada parámetro de contaminación. Esto puede ser incoherente con resultados de algunos estudios que muestran que algunos contaminantes, como el PM₁₀, no tienen un valor umbral detectable. Sin embargo, es algo generalmente aceptado, sobre todo cuando se calculan índices de calidad del aire, que una concentración de un contaminante dado que esté por debajo de la mitad del valor límite permitido, no afectará significativamente a la salud de la mayoría de la población.

En la siguiente tabla se detallan los valores de riesgo relativo y los valores de umbral de toxicidad utilizados para los indicadores de contaminación del aire en el programa

AirQ. Para los valores de RR se detalla también los valores máximos y mínimos en un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 1. Valores umbral, valores guía y valores de riesgo relativo RR (con un IC del 95%) utilizados en el programa AirQ para la estimación del impacto en la salud, causado por los contaminantes considerados. Los valores de riesgo relativo RR están dados por incrementos de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Contaminante	PM ₁₀ promedio diario	O ₃ máximo de 8h	NO ₂ máximo de 1 h	SO ₂ promedio diario
Valor Guía de la OMS [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	50	100	200	20
Valor umbral [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	25	50	100	10
RR mortalidad total	1,0074 ^a (1,0062-1,0086)	1,0051 ^a (1,0002-1,0078)	1,0030 ^a (1,0018-1,0034)	1,004 ^a (1,003-1,0048)
RR Infección Respiratoria Aguda (IRA)	1,008 ^a (1,0048-1,0112)	1,027 ^b (1,001-1,054)	1,021 ^b (1,005-1,036)	n.d.
RR EPOC	n.d.	1,0086 ^a (1,0044-1,0130)	1,0026 ^a (1,0006-1,0044)	1,0044 ^a (1,0000-1,0110)
RR Bronquitis aguda en menores de 15 años	1,016 ^c	1,046 ^b (1,005-1,087)	1,026 ^b (1,004-1,049)	n.d.
RR Ataques de Asma en niños menores de 5 años	1,051 ^a (1,047-1,055)	n.d.	n.d.	n.d.
RR Ataques de Asma en Adultos	1,004 ^a (1,000-1,008)	n.d.	n.d.	n.d.

^a Valores de RR propuestos por defecto por el programa AirQ [1]

^b Valores de RR a partir de referencia [3].

^c Valor de RR a partir de referencia [14]

4 Resultados y discusión

4.1 Análisis de los datos de contaminación atmosférica y epidemiología

Para este estudio se utilizaron los datos sobre contaminación atmosférica generados por la red MoniCA de la ciudad de Cochabamba en los años 2005, 2006 y 2007 [12]. En la tabla 2 se muestra de manera resumida estos datos. En la tabla se detallan valores de promedio anual, máximo anual y el percentil 98 para diferentes parámetros de contaminación utilizados en el estudio.

En la tabla 2 y la figura 1 podemos constatar que el PM₁₀ supera con creces los límites establecidos en la norma boliviana y los valores guía de la OMS. El valor guía de la OMS para el promedio diario de PM₁₀ es superado en alrededor del 70% de los días al año. El O₃ y el SO₂ no superan los límites establecidos sino de manera esporádica. El NO₂ no supera nunca los valores guía de la OMS. En cuanto a la variación temporal, el material particulado PM₁₀ es el único parámetro de contaminación con tendencia a aumentar, los demás parámetros tienen tendencia a disminuir de un año a otro. Sin

embargo, hay que señalar que, en el caso del NO₂, existe contradicción entre la tendencia que se mide con los equipos automáticos y la tendencia que se observa en las mediciones con tubos pasivos. Análisis realizados sobre las mediciones de los equipos automáticos muestran que es posible que se tenga un error sistemático en estas mediciones de NO₂ y que, en realidad, se tenga un aumento en la contaminación por NO₂ [12].

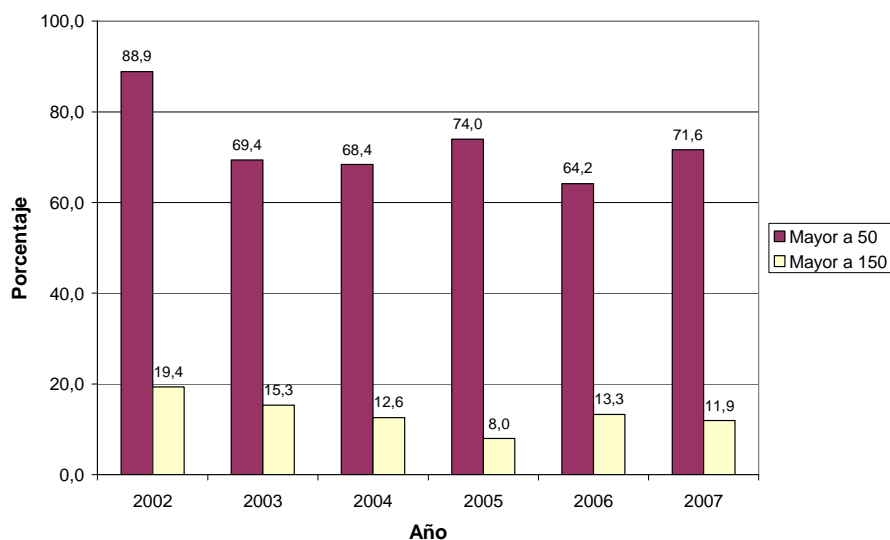


Figura 1: Evolución de la proporción de promedios diarios de PM₁₀ que superan los límites de la norma boliviana y los valores guía de la OMS. Fuente [12].

Tabla 2. Datos de contaminación del aire para los años 2005 a 2007 en la ciudad de Cochabamba. Elaborado a partir de [12].

Indicador Criterio	Año											
	2005		2006		2007							
	Promedio anual	Máximo anual	98 percentil	Datos válidos	Promedio anual	Máximo anual	98 percentil	Datos válidos				
	-----µg/m ³ -----											
PM ₁₀	86,1	281,2	241,4	100	81,1	285,2	243,8	218	88,0	402,0	263,4	133
O ₃	102,8	160,6	145,0	347	75,6	121,5	110,4	365	70,6	157,5	113,9	365
	79,8	128,8	112,2	360	58,4	95,9	84,8	365	52,7	135,4	88,1	365
NO ₂	53,2	135,8	88,4	337	35,8	78,0	62,7	264	38,1	75,1	69,6	303
	24,6	48,0	41,6	361	17,4	32,8	26,9	310	18,0	38,5	31,4	342
SO ₂	39,5	151,1	78,2	336	20,6	85,6	40,8	359	18,7	81,2	51,1	344
	18,3	68,3	31,7	358	9,6	35,5	16,5	365	6,5	43,4	15,9	345

En la tabla 3 se resumen los datos de epidemiología que se utilizaron en este estudio. Se consideró como población expuesta a la población del municipio del Cercado, se utilizaron las proyecciones de población realizadas por el INE para los años 2005, 2006 y 2007 [11]. La información sobre incidencia de mortalidad y morbilidad se tomó de reportes epidemiológicos publicados por el Ministerio de Salud y Deportes [13]. Es necesario señalar que existen algunas incoherencias en estas publicaciones entre los datos publicados en diferentes años. Consideramos que la información epidemiológica en Bolivia tiene todavía serias falencias y es un aspecto que habría que mejorar para poder realizar estudios más confiables y precisos.

Tabla 3. Población expuesta, incidencia de mortalidad y morbilidad en la ciudad de Cochabamba en los años de estudio, expresada en número de casos por 100.000 habitantes por año. Fuente: ^a[11] ^b[12] ^c[4]

Impacto en la Salud	Año		
	2005	2006	2007
Población expuesta ^a	578.219	586.857	595.254
Incidencias			
Mortalidad total ^a	851	836	821
Infección Respiratoria Aguda (IRA) ^b	18.752	20.410	22.310
EPOC ^c	380	n.d.	n.d.
Bronquitis aguda en menores de 15 años ^c	675	n.d.	n.d.
Ataques de Asma en niños menores de 5 años ^c	55	n.d.	n.d.
Ataques de Asma en Adultos ^c	145	n.d.	n.d.

4.2 Impacto de la contaminación atmosférica en la mortalidad y morbilidad

Los resultados obtenidos aplicando el programa AirQ se resumen en la tabla 4 para todos los efectos en la salud y los indicadores de contaminación considerados. Los valores de número atribuible (NA) se presentan con el rango de variación considerando un intervalo de confianza (IC) del 95%.

En lo que concierne a la proporción de mortalidad total atribuible a la contaminación atmosférica, podemos constatar que el contaminante con mayor incidencia es el material particulado (PM₁₀) que provocó un promedio de 205 (PA = 4,2%) muertes al año, durante los años de estudio. La tendencia de este contaminante es a mantener sus niveles de concentración, por lo que es previsible que seguirá provocando este número de muertes en los años que vienen. El ozono troposférico (O₃) es el segundo parámetro en cuanto a su incidencia en el número de muertes, con una tendencia a disminuir; en promedio se le puede atribuir unas 40 (PA = 0,8%) muertes al año. El SO₂ y el NO₂ tienen una incidencia mucho menor en el número de muertes, aunque esto puede cambiar si, a futuro, aumentan los niveles de estos contaminantes en la atmósfera.

Tabla 4. Proporción atribuible (PA) y casos atribuibles (NE) a la contaminación atmosférica en los años 2005 a 2007. Los valores entre paréntesis para NE reflejan el intervalo de confianza de un 95%.

Impacto en la Salud	Parámetro	Año					
		2005		2006		2007	
		PA	NE	PA	NE	PA	NE
Muertes	PM ₁₀ promedio de 24h	4,2%	209* (117;240)	4,0%	194 (164;222)	4,3%	211* (179;242)
	O ₃ máximo diario de 8h	1,5%	74 (3;112)	0,53%	26 (1;40)	0,39%	19 (1;29)
	SO ₂ promedio de 24 h	0,3%	16 (12;19)	0,08%	4 (3;5)	0,02%	1 (1;2)
	NO ₂ máximo diario de 1 h	0%	0	0%	0	0%	0
IRAs	PM ₁₀ promedio de 24h	4,6%	4.944 (3.058;6.724)	4,2%	5.079 (3.146;6.896)	4,6%	6.152 (3.822;8.336)
	O ₃ máximo diario de 8h	7,4%	8.009 (325;14.721)	2,7%	3.225 (126;6.144)	2,0%	2.650 (105;4.999)
	NO ₂ máximo diario de 1 h	0,02%	22 (6;36)	0%	0	0%	0
EPOC	O ₃ máximo diario de 8h	2,5%	55 (29;82)	0,9%	20 (10;30)	0,7%	15 (8;22)
	SO ₂ promedio de 24 h	0,36%	8 (0;19)	0,09%	2 (0;5)	0,04%	1 (0;2)
Bronquitis aguda en menores de 15 años	O ₃ máximo diario de 8h	11,8%	462 (58;778)	4,4%	176 (21;310)	3,3%	131 (16;228)
	PM ₁₀ promedio de 24h	8,5%	332	7,9%	312	8,6%	343
Ataques de Asma en niños	PM ₁₀ promedio de 24h	21,4%	68 (64;71)	19,5%	63 (59;66)	21,1%	69 (65;72)
Ataques de Asma en adultos	PM ₁₀ promedio de 24h	2,4%	20 (0;38)	2,2%	19 (0;36)	2,4%	21 (0;40)

* El año 2005 y 2007 no se cuenta con el número de datos de PM₁₀ mínimo exigido por la metodología de cálculo del AirQ. Estos valores se calcularon con los datos disponibles.

En cuanto a las infecciones respiratorias agudas (IRA), los contaminantes que tienen mayor incidencia son el ozono troposférico y material particulado PM_{10} . Un promedio de 5.392 (PA = 4,5%) casos al año son atribuibles a PM_{10} y 4.628 (PA = 4,0%) al ozono troposférico. Los demás contaminantes criterio tienen una incidencia mucho menor en cuanto a IRAs se refiere.

La fracción de casos de bronquitis en menores de 15 años atribuible a la contaminación es también muy significativa. Nuevamente tenemos al ozono troposférico y al material particulado PM_{10} como los principales factores de incidencia. En el periodo de estudio la proporción atribuible al material particulado PM_{10} es de 8,3% y la correspondiente al ozono es de 6,3% casos al año.

Los ataques de asma en niños y adultos también tienen como principal causa el material particulado. En niños tenemos un promedio 20,7% de los casos que pueden ser atribuidos a la contaminación por PM_{10} y en el caso de asma en adultos, un 2,3% de los casos. El impacto en este caso es mucho mayor en los niños.

5 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio muestran claramente que los contaminantes criterio del aire que más afectan a la salud de la población del municipio del Cercado del Departamento de Cochabamba son el material particulado (PM_{10}) y el ozono troposférico. En el caso del PM_{10} esto es coherente con el hecho de que los valores medidos de este contaminante superan la mayor parte del tiempo los valores establecidos en las guías de la OMS. En el caso del ozono troposférico, el efecto sobre la salud de la población es mayor a lo esperado si consideramos que casi nunca se superan los valores guía de la OMS.

El NO_2 y el SO_2 , de acuerdo a estos resultados, tienen un impacto menor sobre la salud de la población, a pesar de que no están lejos de los valores guía establecidos por la OMS. En el caso del SO_2 es plausible pues los combustibles que se utilizan en la ciudad de Cochabamba contienen muy poco azufre y esto genera muy pocas inmisiones de este contaminante. Sin embargo, los resultados relativos al impacto de la contaminación por NO_2 , contrastan con los resultados obtenidos en otros estudios como el de Alem [3], donde se muestra que el NO_2 (promedio máximo de 1 h) puede ser responsable de hasta 5,2% de casos de IRA y de 3,8% de los casos de bronquitis en menores de 15 años. Esta discordancia puede ser que se deba a los valores umbral utilizados en el estudio. Puede que sea necesario considerar un valor umbral más bajo para el caso de NO_2 .

En cuanto al impacto en la salud, este estudio muestra que es muy significativo, sobre todo a causa de la contaminación por PM_{10} y ozono troposférico. Si el nivel de contaminación por estas sustancias se redujera al nivel de los valores umbral dados en la tabla 1, se podrían reducir al año un: 5% (245) de muertes, 8,5% (10.020) de casos de IRA, 14,6% de los casos de bronquitis en menores de 15 años, 20,7% de ataques de asma en niños y 2,3 % casos de asma en adultos. Esto demuestra que el impacto de la

contaminación sobre la salud de la población de la ciudad de Cochabamba es muy significativo. Por ello, consideramos absolutamente necesario el implementar, en el menor plazo posible, un plan de acción para la reducción de la contaminación atmosférica en la ciudad de Cochabamba.

Agradecimientos

El autor desea agradecer la contribución de todo el personal de la Red MoniCA que pacientemente y con mucho espíritu de colaboración viene realizando los trabajos de monitoreo de la contaminación del aire en la ciudad de Cochabamba.

Referencias

- [1] Air quality health impact assessment software AirQ2.2. En: http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_5. (Acceso enero 2008)
- [2] Aldunate P; Paz O.; Halvorsen K. 2006. *Los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en la ciudad de La Paz – Bolivia*. Revista Acta Nova. Universidad Católica Boliviana San Pablo. Vol. 3, Nº 2. pp. 422-442
- [3] Alem N. 2005. Tesis de Ingeniería Ambiental. *Implementación de una metodología para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud en la ciudad de Cochabamba*. Universidad Católica Boliviana San Pablo, Cochabamba, Bolivia
- [4] Armaza A.; Ayo X.; Céspedes R.; Vargas I.; Ortuño C.; Luján M. 2006. *Evaluación del efecto del dióxido de nitrógeno y ozono en la salud de la población del municipio del Cercado, Cochabamba – Bolivia*. Swisscontact
- [5] Artaxo P., Castanho A., Aldape F., Plá R., Cortes E., Oyola P. *Urban air pollution in Latin American Cities. A changing Atmosphere*. En: <http://ies.jrc.cec.eu.int/Units/cc/events/torino2001/torinocd/Documents/Urban/UP21.htm>. (Acceso marzo 2008)
- [6] Ballester, D.F., J.M. Tenías y S. Pérez-Hoyos. 1999. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. Revista especial Salud Pública. Vol 73, Nº2: 110-114. España
- [7] Bell M., Davis D., Gouveia N., Borja-Aburto V., Cifuentes L. 2006. Environ Res. Mar; 100(3): 431-40
- [8] Bolivia: Reglamento D.S. No. 24176. 1995. *Reglamentos a la Ley de Medio Ambiente*. La Paz-Bolivia.
- [9] De Nevers, N. 1998. *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. Mc Graw Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V. de México, D.F.: 6-117
- [10] History of significant air pollution events. En: <http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter18/history.html>. (Acceso marzo 2008)

- [11] INE (Instituto Nacional de Estadística). 2007. Proyecciones de la población según municipios. La Paz-Bolivia. En: <http://www.ine.gov.bo/cgi-bin/piwdie1xx.exe/TIPO>. (Acceso mayo 2007)
- [12] Luján M. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Cochabamba, Red MoniCA. 2008. Informe Anual 2005, 2006 y 2007. Universidad Católica Boliviana, Cochabamba, Bolivia. Febrero
- [13] Ministerio de Salud y Deportes. 2008. Unidad Nacional de Epidemiología. En: <http://www.sns.gov.bo/documentos/epidemiologia>. (Acceso septiembre 2008)
- [14] Molina E.; Meneses E. 2003. Revista Cubana de Hig. Epidemiol. 41 (2-3)
- [15] OMS. 2000. Centro Europeo para el Ambiente y la Salud. Evaluación y uso de la evidencia epidemiológica para la evaluación de riesgos ambientales para la salud. Documento Guía. División de Bilthoven
- [16] WHO. 2001. AirQ Versión 1.2: Air Quality and Health Impact Assessment Tool. User's Manual. European Centre for Environment and Health. Bonn, Alemania
- [17] WHO. Air quality guidelines, global update 2005. En: <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>. (Acceso mayo 2006)
- [18] WHO. The world health report 2002, reducing risks promoting healthy life. En: <http://www.who.int/whr/2002/chapter4/en/index7.html>. (Acceso marzo 2008)
- [19] XHILLARI, D. 2000. WHO - European Centre for Environment and Health, Bilthoven Division. Health Impact Assessment of Air Pollution in the WHO European Region - a Standardised Approach. Holanda