

Determinación del impacto de varios contaminantes criterio sobre la salud de la población en ciudades capitales de Bolivia

Determining the impact of several criteria pollutants on the health of the population in major cities in Bolivia

Marcos Luján Pérez & Daira Gonzáles Zurita

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica
Boliviana San Pablo, Unidad Académica de Cochabamba, Bolivia

lujan@ucbcha.edu.bo

Resumen: Se realizó un estudio comparativo del riesgo relativo (RR) por la exposición a factores climáticos (amplitud térmica, temperatura mínima y humedad relativa) y a niveles de contaminación por material particulado (PM₁₀), Ozono (O₃) y óxido de nitrógeno (NO₂) en tres ciudades capitales de Bolivia con diferentes características climáticas y alturas sobre el nivel del mar: El Alto (4.070 m s.n.m.), La Paz (3.650 m s.n.m.) y Cochabamba (2.570 m s.n.m.); relacionadas con los casos de Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) y Neumonías. Se observó que la amplitud térmica tiene una correlación positiva con los casos de IRA y neumonía en La Paz y Cochabamba, pero no en El Alto. Los niveles de PM₁₀ están asociados con un mayor riesgo de IRAs y Neumonías en las tres ciudades estudiadas, pero el nivel de riesgo es mayor en la ciudad a mayor altura (El Alto) y menor en la ciudad a menor altura (Cochabamba). En la ciudad de Cochabamba mayores niveles de ozono están asociados con un menor riesgo de IRAs y Neumonías, y mayores niveles de NO₂ están asociados con mayores riesgos de contraer estas mismas enfermedades.

Palabras clave: contaminación atmosférica, riesgo relativo, material particulado, factores climáticos, Bolivia

Abstract: A comparative study of the relative risk (RR) was performed by exposure to climatic factors (temperature range, minimum temperature and relative humidity) and levels of particulate matter pollution (PM₁₀), ozone (O₃) and nitrogen oxide (NO₂) in three capital cities of Bolivia with different climatic characteristics and height above sea level: El Alto (4,070 m asl), La Paz (3,650 m asl) and Cochabamba (2,570 m asl); related to cases of acute respiratory infections (ARI) and pneumonia. It was observed that the temperature range is positively correlated with the ARI and pneumonia in La Paz and Cochabamba, but not in El Alto. PM₁₀ levels are associated with an increased risk of ARI and pneumonia in the three cities studied, but the level of risk is higher in the city at higher altitudes (El Alto) and lowest in the city at a lower height (Cochabamba). In the city of Cochabamba highest ozone levels are associated with a lower risk of ARI

and pneumonia, and higher levels of NO₂ are associated with higher risk for these same diseases.

Key words: air pollution, relative risk, particulate matter, climatic factors, Bolivia.

1 Introducción

Un informe de prensa publicado por la OMS (OMS, 2014) indica que las estimaciones más recientes sobre el impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud establecen que unos 7 millones de personas al año mueren debido a la exposición a la contaminación atmosférica, esto significa una de cada ocho muertes que se producen al año en el planeta. Por parte, la misma OMS (OMS, 2016) en un reciente comunicado de prensa informa que se estima que unas 12,6 millones de muertes al año se deben a la insalubridad del medio ambiente, causada esencialmente por el ser humano: esto representa 234 más muertes al año que las provocadas por conflictos armados en el mundo. Estas estimaciones muestran claramente que la principal causa de muerte debido a insalubridad ambiental es la contaminación atmosférica. Esta situación pone en evidencia que los científicos y autoridades ambientales competentes tienen que ponerle mucho más interés en establecer cuál es el impacto sobre la salud de la población que está siendo producida por la contaminación atmosférica, sobre todo en los países en desarrollo como Bolivia, pues es en estos países que los controles son más laxos y los niveles de contaminación atmosférica más elevados.

Desde que algunos episodios de contaminación mostraron claramente la relación entre la presencia de contaminantes en la atmósfera e impactos en la salud, como los ocurridos en el valle de la Meuse (Bélgica) en 1930, en Donora (EEUU) en 1948 y el ocurrido en Londres (Reino Unido) en diciembre 1952 (Ballester, J.M. Tenías, & Pérez-Hoyos, 1999), los científicos han ido elaborando más y mejores herramientas para establecer con mayor precisión el riesgo de la presencia de contaminantes en la atmósfera y poder cuantificar los impactos sobre la salud de la población.

Diferentes metodologías han sido propuestas para la determinación de factores de riesgo relativo y la cuantificación de efectos en la salud (Ostro, 2004) (Ballester, J.M. Tenías, & Pérez-Hoyos, 1999) (Centro Europeo para el Ambiente y la Salud. OMS – Oficina Regional Para Europa, 2001) (Krzyzanowski, 1997), que han permitido establecer con mayor claridad y certidumbre los innegables impactos de la contaminación atmosférica sobre la salud de los seres humanos en todo el mundo.

Sin embargo, a pesar de todos los avances logrados, todavía hay aspectos que no se conocen muy bien, uno de ellos es la influencia de los factores ambientales en la toxicidad de los contaminantes y el consecuente riesgo para la salud. El problema

es en esencia complejo, asociado al concepto de calidad del aire, que también es difícil definir. El enfoque actual para establecer la calidad del aire es seleccionar contaminantes específicos, llamados contaminantes “criterio”, que tienen un probado efecto tóxico y están asociados a las emisiones de las principales fuentes de emisión, sobre todo antropogénicas (parque vehicular, industriales, domésticas, comerciales, etc.). La medición de los niveles de concentración de estos contaminantes en la atmósfera permite establecer el riesgo para la salud de la población comparando estos niveles con límites permisibles establecidos en las normativas nacionales. Los límites se establecen en base a la recopilación de estudios específicos de cada contaminante y es potestad de los gobiernos y autoridades ambientales competentes el establecer estos límites, que tienen el objetivo de proteger a la mayoría de la población de los efectos nocivos de la contaminación atmosférica. Es el caso de Bolivia, los límites permitidos se establecieron en base a reglamentaciones de otros países y estudios realizados en otras partes del mundo, y tomando como referencia los valores guía recomendados por la OMS (WHO, Regional Office for Europe, 2000), esto a falta de estudios locales y que brinden información directa sobre los riesgos para la salud de los diferentes contaminantes.

Hay claras evidencias de que factores ambientales como: la dispersión de los contaminantes, la radiación solar, la temperatura, la humedad y otros elementos del clima, influyen en la transformación de contaminantes primarios y secundarios. Estos factores pueden incidir en que un contaminante criterio específico, o los contaminantes asociados, tengan un mayor o menor efecto tóxico sobre las personas. Esta situación nos lleva a preguntarnos si un contaminante criterio puede tener, o representar, mayor o menor toxicidad y, por ende, representar mayor o menor riesgo para la salud de la población, dependiendo de las condiciones ambientales a las que está sometido en un clima determinado. Consideramos que esta pregunta es aún más relevante en un país como Bolivia que tiene su población distribuida en tres grandes zonas ecológicas: altiplano, valles y llanos, donde los factores climáticos son muy distintos. El altiplano se caracteriza por climas fríos, pero de alta intensidad de radiación solar; los valles tienen temperaturas medias con radiación solar elevada y; los llanos presentan climas tropicales y húmedos.

Con el propósito de aportar más información sobre los efectos de las condiciones ambientales en la toxicidad y factores de riesgo para la salud de algunos contaminantes criterio, se determinaron los factores de riesgo relativo (RR) del material particulado (PM_{10}) en ciudades de Bolivia con diferentes características climáticas, en concreto las ciudades de: El Alto, La Paz, Cochabamba y Santa Cruz, relacionados con diferentes enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica.

2 Materiales y métodos

Para la elaboración de este estudio se recopilamos datos de contaminación atmosférica de las redes de monitoreo que se encuentran instaladas en las ciudades de El Alto, La Paz, Cochabamba y Santa Cruz. Los indicadores de contaminación que se miden en estas redes son: material particulado (PM_{10}), óxidos de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), monóxido de carbono (CO) y en algunas de ellas, dióxido de azufre (SO_2). Los métodos de monitoreo que se utilizan en las redes de monitoreo son diversos y dependen del parámetro a medir. En todas se utilizan métodos pasivos para medir NO_2 y O_3 (de la firma PASSAM A.G.), activos para medir PM_{10} (Impactadores Harvard y equipos TAS), y equipos automáticos para medir en línea los contaminantes criterio. Para este estudio se consideraron sólo los sitios de monitoreo que utilizan equipos automáticos para la medición de PM_{10} , Ozono y NO_2 .

Se recolectaron los datos medidos y datos validados de cada red de monitoreo y se analizó la consistencia, coherencia y completitud de los mismos. Sólo se consideraron las series de datos de contaminación que contaban con un mínimo de un 75% de los datos en el periodo de medición. En este análisis detectamos que algunas redes, como la red de Santa Cruz, no contaban con una cantidad suficiente de datos válidos como para incorporarlos en el estudio, esta red tenía solo un 30% de datos válidos sobre los datos que se programó medir. Algo similar sucedió con la red de La Paz que sólo contaba con un 65% por ciento de los datos de NO_2 y Ozono. La red de El Alto sólo mide PM_{10} con equipos automáticos. Ante estas carencias nos vimos obligados a limitar los contaminantes considerados en el estudio a PM_{10} en las ciudades de: El Alto, La Paz y Cochabamba. Para el caso de Cochabamba se incluyeron en el estudio el Ozono y el NO_2 .

La información sobre la incidencia de enfermedades asociadas a la contaminación se la recopiló a partir de los Servicios Departamentales de Salud (SEDES). El SEDES es la institución encargada de realizar la vigilancia epidemiológica en cada departamento y la responsable de recolectar la información necesaria. Entre los registros que realizan, se cuenta con registros de incidencia de Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs, sin neumonía) y Neumonías. Los registros se realizan por semanas epidemiológicas de modo que se tiene información de casos por semana en cada municipio/ciudad. A partir de esta fuente se obtuvieron los datos de incidencia en las tres ciudades consideradas en el estudio, para las semanas epidemiológicas comprendidas entre enero del 2012 y diciembre de 2014, haciendo un total de 156 semanas.

Como factores climáticos relevantes se consideraron: la temperatura mínima diaria, la amplitud térmica diaria y la humedad mínima diaria, recogiendo las recomendaciones y resultados de estudios previos realizados en Cochabamba

(Alem, Luján, & Bascopé, 2005). En particular, estos estudios muestran que la amplitud térmica es el factor ambiental más importante, más que la temperatura mínima o la humedad relativa. La información sobre estos parámetros se la obtuvo de las mismas redes de monitoreo que poseen estaciones meteorológicas y del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), a través de su página web (SENAMHI, Bolivia, 2015). Se consultaron los datos de las estaciones meteorológicas del Aeropuerto de El Alto, en el caso de la ciudad del El Alto; la estación de Laykacota en el caso de la ciudad de La Paz y; la estación de Aeropuerto Jorge Wilsterman y la estación meteorológica de la Red MoniCA ubicada en SEMAPA, en el caso de la ciudad de Cochabamba.

Dado que la información epidemiológica se registra en casos por semana, tanto la información sobre factores ambientales como la información sobre contaminantes, se la procesó para obtener promedios semanales de cada parámetro. Para ello, primero se calcularon o determinaron los parámetros diarios de amplitud térmica (AT), temperatura mínima ($T_{\min}$), humedad relativa mínima ($HR_{\min}$), promedio diario de 24 h de PM_{10} , máximo diario de 8 h de Ozono y promedio diario de 24 h de NO_2 . Con estos valores se determinaron los promedios semanales de estos parámetros. Para el procesamiento de estos datos se utilizó el software Excel de Microsoft Office Professional Plus 2010 (Microsoft Corporation, 2010)

Para analizar la relación entre los contaminantes del aire y los factores climáticos con la variación de las ocurrencias de una enfermedad (variable respuesta), se empleó la regresión log-lineal de Poisson, utilizando las variables de contaminación como variables independientes y las variables de condiciones climáticas como las variables confusoras. Al aplicar este modelo, su utilizó como guía metodológica el trabajo publicado por Saez *et al.* (1999) (Saez, Pérez-Hoyos, Tobías, Saurina, Barceló, & Ballester, 1999)

La construcción del modelo de regresión de Poisson autoregresivo permite determinar si la variable respuesta depende o no de otras variables. Si las variables independientes tienen un efecto significativo sobre la variable respuesta (para un intervalo de confianza del 95% y $p < 0,05$), este efecto es evaluado por el coeficiente β de cada variable independiente en el modelo de regresión de Poisson. El modelo lineal generalizado para relacionar la variable respuesta con diferentes variables independientes, está construido de la siguiente manera (Saez, Pérez-Hoyos, Tobías, Saurina, Barceló, & Ballester, 1999):

$$\ln(E_y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_{t,i} \quad (\text{ec. 1})$$

Donde, E_y es el número esperado de casos semana, β_0 y β_i son constantes del modelo y $x_{t,i}$ son las variables explicativas del modelo.

Para la construcción del modelo se procedió en dos etapas. En una primera etapa se introdujeron las variables climáticas hasta lograr un modelo con correlaciones significativas, aquellas variables climáticas que no tienen una correlación significativa ($p > 0,05$) fueron eliminadas del modelo. Luego, en una segunda etapa, se introdujeron las variables de contaminación ambiental y se procedió de manera similar a eliminar aquellas variables que no mostraban una correlación significativa. En los modelos no se utilizaron retardos pues los efectos en salud considerados son efectos de tipo agudo que se producen unas horas o días después de la exposición a la contaminación atmosférica, dado que las series de tiempo utilizadas son semanales, no se consideró necesario incluir retardos. El análisis de regresión lineal generalizada se realizó con el software SPSS versión 22 (IBM Corporation, 2013).

Una vez ajustado el modelo de Poisson se calculó el valor del riesgo relativo (RR) mediante la siguiente ecuación:

$$RR_i = e^{\beta_i} \quad (\text{ec. 2})$$

Donde, RR_i es el riesgo relativo asociado a la variable explicativa i , por unidad de incremento de esta variable y β_i es el coeficiente de regresión asociado a la variable explicativa i en el modelo (Saez, Pérez-Hoyos, Tobías, Saurina, Barceló, & Ballester, 1999).

3 Resultados

A partir de la información recolectada sobre los factores climáticos y de contaminación ambiental se elaboraron las gráficas que se presentan a continuación. La Tabla 1 muestra las principales características climáticas y demográficas de las ciudades estudiadas.

La ciudad del El Alto está sobre el altiplano boliviano y presenta las menores temperaturas de las tres ciudades estudiadas. La amplitud térmica varía entre un rango de 7,4°C en verano a 23,5°C en el invierno. Por su altura, la radiación UV que recibe es más intensa que en las otras ciudades estudiadas (Zaratti, 2003) y por ello presenta mayores posibilidades de formación de contaminantes secundarios, en particular smog fotoquímico.

La ciudad de La Paz, si bien es vecina de la ciudad de El Alto, se encuentra en una hoyada que cambia completamente el clima y el régimen de vientos. En promedio, La Paz se encuentra unos 420 m por debajo de la ciudad de El Alto y sus temperaturas son más elevadas. La amplitud térmica varía entre 9,0 en verano y 17,4 °C en invierno. La topografía de esta ciudad también condiciona enormemente el régimen de vientos que ventila esta ciudad.

Tabla 1. Características demográficas, climáticas y de contaminación atmosférica de las ciudades consideradas en el estudio

Parámetro	El Alto	La Paz	Cochabamba
Población			
2012	860.062	779.728	645.696
2013	870.576	782.327	654.090
2014	881.027	785.605	662.952
Temperatura Mínima media (°C)	0,53	6,1	1,9
Amplitud Térmica Promedio (°C)	14,6	13,7	18,1
Precipitación anual (mm)	613,9	487,3	499,5
PM ₁₀ promedio anual (µg/m ³)	32,3	44,2	76,7
Ozono promedio anual (máximo de 8h, µg/m ³)	-	-	34,3
NO ₂ promedio anual (µg/m ³)	-	-	21,0

Cochabamba se encuentra a menor altura que La Paz, unos 1.080 m más baja. Es un valle cerrado que facilita la formación de inversiones térmicas durante gran parte del año y esto, combinado con la elevada radiación solar, genera una mayor amplitud térmica durante el día, comparada con las ciudades de La Paz y El Alto. La amplitud térmica en Cochabamba varía de 9,6 en verano a 25,0 °C en invierno; se han registrado casos extremos de hasta 30°C.

3.1 Análisis de factores ambientales

Como se puede observar en las Figuras 1 a 3, donde se muestran los promedios semanales de las variables ambientales, se tiene una alta estacionalidad de los mismos. Las temperaturas mínimas se las tiene obviamente en invierno (ver Figura 2:); las temperaturas mínimas más bajas se las observa en El Alto donde se llega a unos -5 grados en pleno invierno. Es interesante notar que las temperaturas mínimas que se registran en La Paz y Cochabamba son similares en pleno invierno y alcanzan mínimos de unos 2 a 3 °C. Las temperaturas mínimas en verano son distintas en las tres ciudades: en Cochabamba es de 12 a 13°C, en La Paz de 7 a 8°C y en El Alto de 3 a 5°C.

La amplitud térmica es mayor en invierno que en verano, en todos los casos (ver Figura 1:). La ciudad con mayor amplitud térmica en la ciudad de Cochabamba que presenta máximos de 22 a 23°C en invierno y en verano de 12 a 14°C; La Paz tiene amplitudes de 15 a 16°C en invierno y de 11 a 12°C en verano; en El Alto la amplitud térmica en invierno es de 18 a 19°C en invierno y de 9 a 10°C en verano. Esto muestra que en las ciudades de valles interandinos como es la ciudad de Cochabamba, se tiene una amplitud térmica mucho mayor. La humedad relativa

mínima es también menor en la época de invierno, esto está asociado en cierta medida con a la amplitud térmica, pues, en la madrugada, cuando se registran las menores temperaturas, el aire tiene una relación de humedad baja, aunque la humedad relativa alcanza con frecuencia el 100% y, por la tarde, al calentarse el ambiente, la humedad relativa disminuye. En Cochabamba se registran las menores humedades relativas en los meses de junio a septiembre que corresponde a la época de invierno y la primavera; en La Paz, el comportamiento es más irregular, con tendencia a tener los meses más secos también en invierno (ver Figura 3).

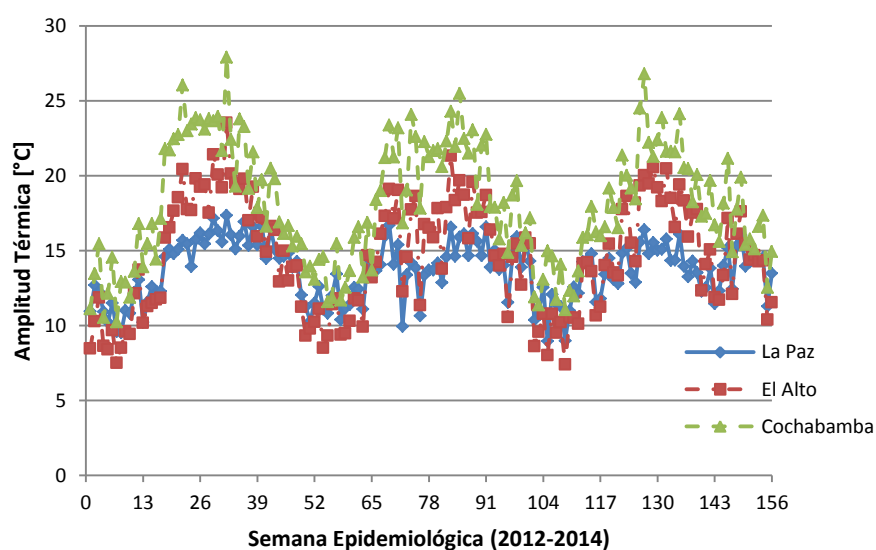


Figura 1: Amplitud térmica semanal promedio en las ciudades de La Paz, Cochabamba y El Alto durante el periodo de estudio considerado, entre enero de 2012 y diciembre de 2014.

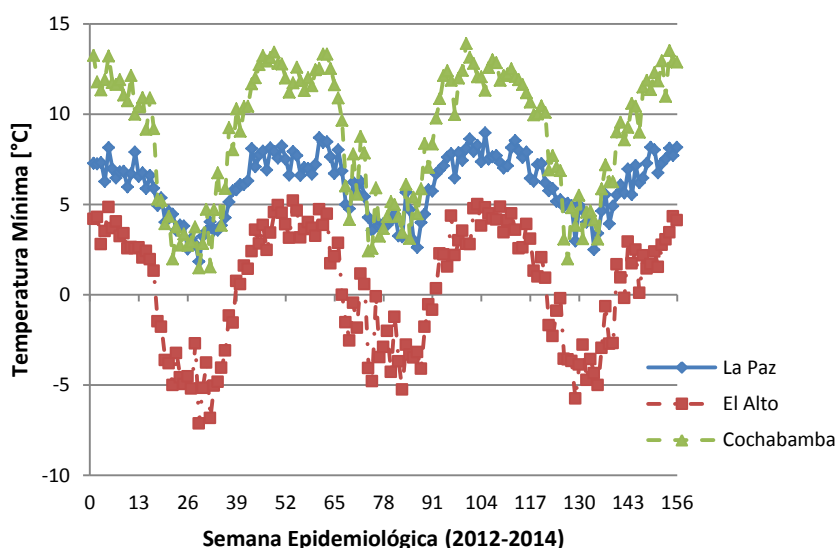


Figura 2: Temperatura mínima promedio semanal en las ciudades de La Paz, El Alto y Cochabamba entre enero 2012 y diciembre 2014.

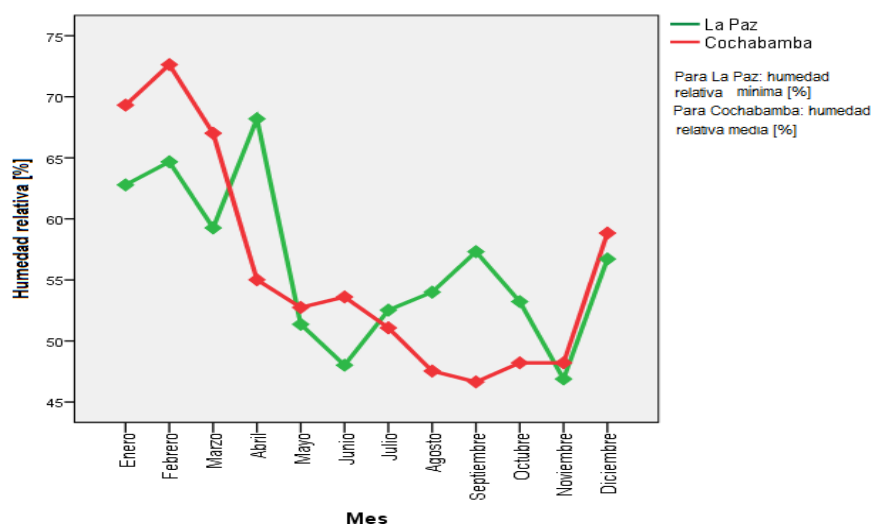


Figura 3: Promedios mensuales de humedad relativa mínima en las ciudades de La Paz y Cochabamba entre los años 2012 y 2013.

3.2 Análisis de los factores de contaminación atmosférica

Los niveles de contaminación por PM_{10} muestran también una marcada estacionalidad (ver Figura 4). Los niveles en el invierno son mucho más elevados que en el verano; en el caso de la ciudad de Cochabamba en particular, la

contaminación por este contaminante primario es casi el doble en invierno que en verano. Este fenómeno se observa en las tres ciudades estudiadas y está asociado a la presencia de frecuentes inversiones térmicas durante el invierno que se mantienen durante casi toda la mañana y se rompen recién en horas de la tarde; en el verano las inversiones térmicas también se producen, pero se rompen a la mitad de la mañana. Esta situación se produce en las tres ciudades estudiadas, pero, se produce de manera más pronunciada en las ciudades con una mayor amplitud térmica en el invierno, es el caso de Cochabamba, que es además la ciudad con mayor contaminación por PM_{10} , como se puede apreciar en la Tabla 1. En la Figura 5: se grafican los promedios anuales de PM_{10} para las ciudades en estudio, podemos observar una tendencia a disminuir en la ciudad de Cochabamba y, al contrario, la tendencia en las ciudades de La Paz y El Alto, la tendencia es a aumentar los niveles de contaminación por PM_{10} . Sin embargo, queda claro que los niveles de PM_{10} en Cochabamba son mucho más elevados en La Paz y el Alto.

Los niveles de contaminación por NO_2 se muestran en las Figura 6:, para las ciudades de Cochabamba y La Paz. Se puede observar que los niveles de contaminación por NO_2 son más elevados en La Paz que en Cochabamba, esto debido eventualmente a que en la ciudad de La Paz se tienen mayores emisiones de NO_2 por el parque vehicular, ya que se tiene una flota vehicular que utiliza en mayor proporción gasolina y diesel como combustible, en comparación con el parque vehicular de Cochabamba que tiene una importante proporción de los vehículos que operan con gas natural.

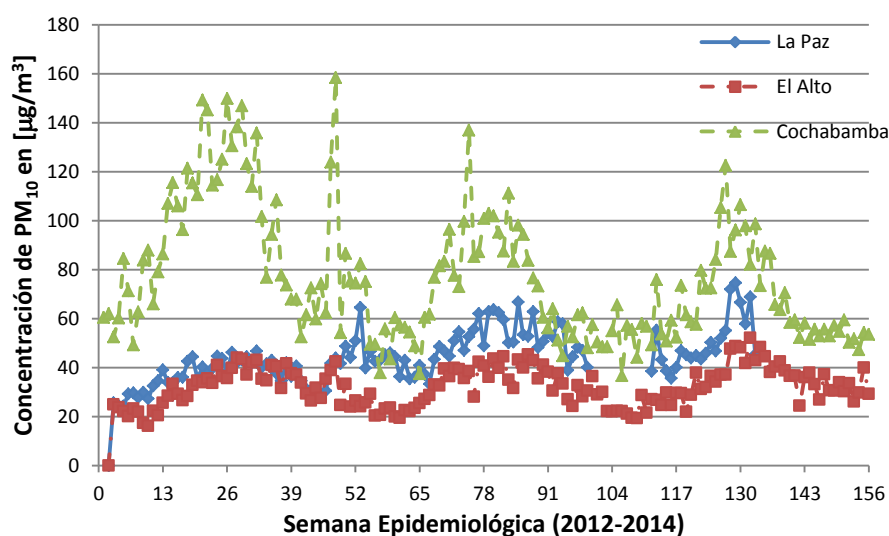


Figura 4: Concentraciones promedio semanales de PM_{10} en las ciudades de La Paz, El Alto y Cochabamba entre enero 2012 y diciembre 2014.

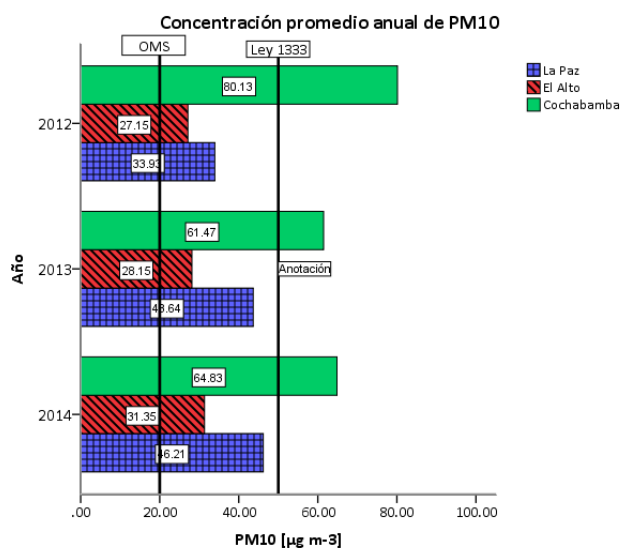


Figura 5: Evolución de los niveles de PM₁₀ en las ciudades de Cochabamba, La Paz y El Alto, se muestran los promedios anuales en cada ciudad para los años 2012, 2013 y 2014.

En cuanto a la estacionalidad de los niveles de contaminación por NO₂, se observa que la ciudad de Cochabamba tiene los niveles más elevados en invierno, concretamente el mes de junio, cuyos niveles de contaminación son casi el doble de los niveles que se observa en verano. En la ciudad de La Paz la situación es más irregular, las épocas con mayor nivel de contaminación de NO₂ son los meses de invierno y primavera, de junio a noviembre.

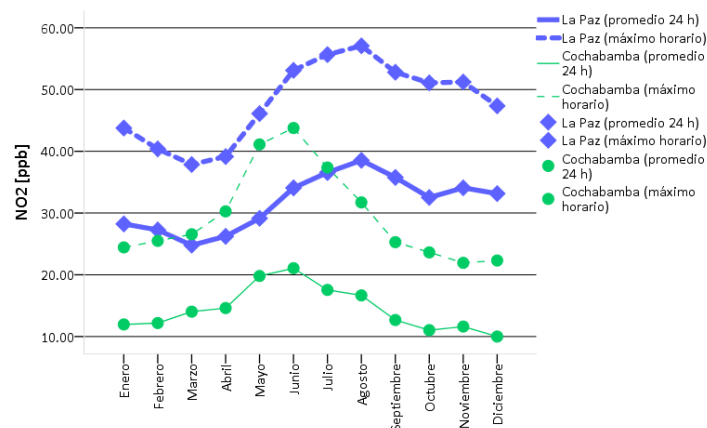


Figura 6: Promedios mensuales de los años 2012 a 2014 de los niveles de NO₂, promedio de 24 h (línea llena) y máximos diarios de 1 h (línea punteada) para las ciudades de La Paz y Cochabamba.

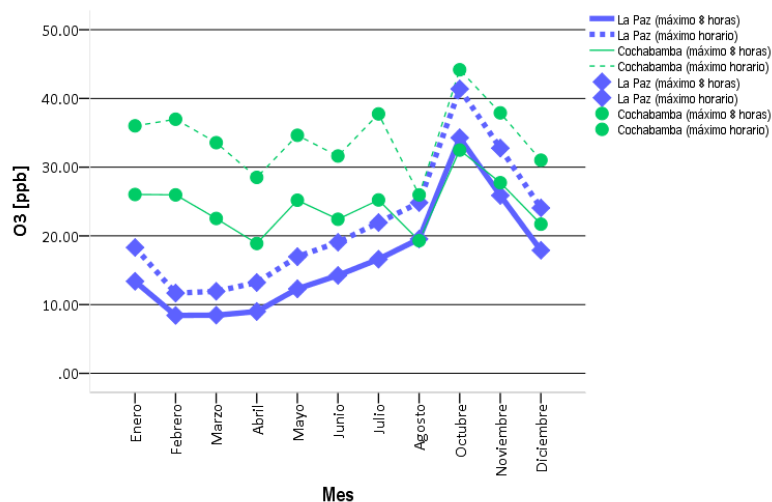


Figura 7: Promedios mensuales de los años 2012 a 2014 de los niveles de O₃, máximo diario de 8 h (línea llena) y máximos diarios de 1 h (línea punteada) para las ciudades de La Paz y Cochabamba.

Los niveles de Ozono (ver Figura 7:) también muestran una cierta estacionalidad en las ciudades de La Paz y Cochabamba, son más elevados en los

meses de la primavera (septiembre, octubre y noviembre), debido esencialmente a que en esos meses se tiene una mayor intensidad de radiación solar, en los meses de invierno se observan los niveles más bajos de contaminación por Ozono.

3.3 Análisis de las variables epidemiológicas

En la Figura 8: se muestra la incidencia anual de IRAs entre los años 2012 a 2014 para las ciudades de Cochabamba, La Paz y El Alto. Podemos apreciar que la mayor incidencia de IRAs se tiene en la ciudad de Cochabamba, con una ligera tendencia a aumentar, seguida por La Paz, y luego El Alto. Cabe hacer notar que si bien El Alto presenta los menores valores de incidencia en IRAs, la tendencia a aumentar es mucho más fuerte en esta ciudad que en las otras ciudades.

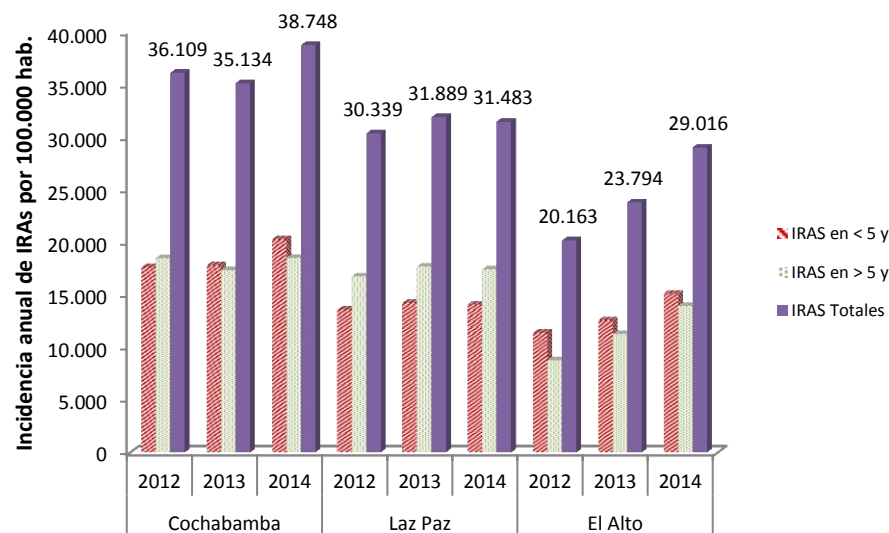


Figura 8: Incidencia de IRAs por 100.000 habitantes en las ciudades de Cochabamba, La Paz y el Alto en los años 2012, 2013 y 2014. Elaborado en base a datos de los SEDEGES y del INE.

En la Figura 9: tenemos representadas las incidencias de Neumonías en las tres ciudades de estudio. Podemos observar que para esta patología, la ciudad de El Alto presenta los mayores niveles de incidencia con una tendencia a aumentar, seguida por la ciudad de La Paz, pero con una tendencia a disminuir y luego viene la ciudad de Cochabamba con una ligera tendencia a aumentar los niveles de incidencia de Neumonías.

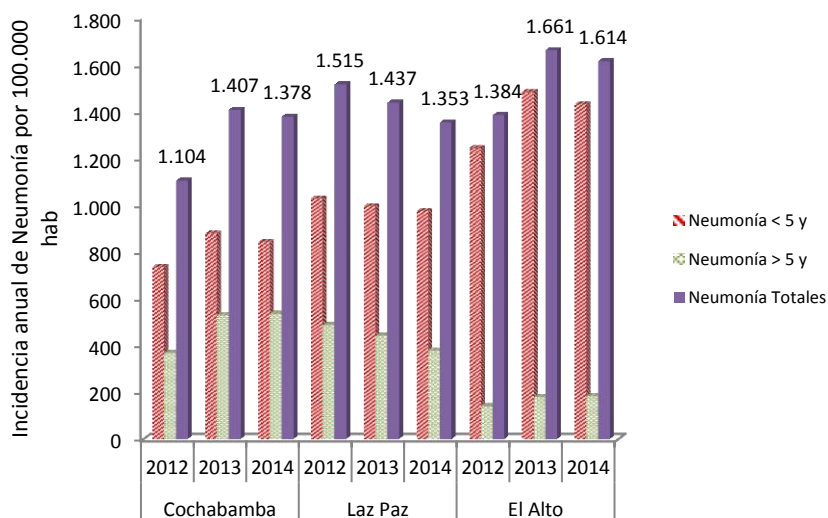


Figura 9: Incidencia anual de Neumonías por 100.000 habitantes en las ciudades de Cochabamba, La Paz y El Alto en los años 2012, 2013 y 2014. Elaborado en base a datos de los SEDEGES y del INE.

La variación anual de la incidencia de IRAs y neumonías tiene también una clara estacionalidad, como se puede observar en las Figura 10: a Figura 12: donde se muestran las incidencias semanales de IRAs por 100.000 habitantes. La incidencia es mucho mayor en los meses de invierno que en los meses de verano para ambas enfermedades. Esta estacionalidad es muy clara en la ciudad de todas las ciudades de estudio. El mes de junio es el que presenta los mayores niveles de incidencia de IRAs para todas las edades, sin embargo, en el caso de los menores de 5 años, se puede observar en la Figura 12: que son los meses de abril, mayo y junio que presentan los mayores niveles de incidencia de IRAs.

En el caso de las neumonías, la ciudad de El Alto es la que presenta mayores niveles de incidencia, sobre todo en menores de 5 años, seguida por las ciudades de La Paz y luego Cochabamba. También se observa una clara estacionalidad en las tres ciudades (ver Figura 13: a Figura 15:); sin embargo, en el caso de las Neumonías, son los meses de abril, mayo y junio que presentan los mayores niveles de incidencia, y esto ocurre en las tres ciudades. Se observa también un ligero aumento de las incidencias en el mes de noviembre en las tres ciudades. Llama la atención la manera sistemática en que, en las tres ciudades, el mes con mayor incidencia de neumonías es el mes de abril, con un aumento brusco en relación a los meses de febrero y marzo (ver Figura 15:), tanto en menores de 5 años como para todas las edades.

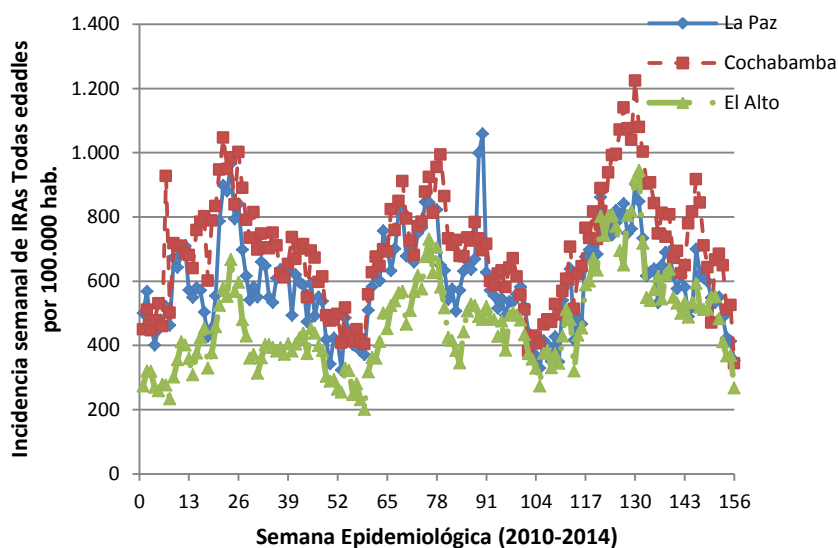


Figura 10: Incidencia semanal de IRAs por 100.000 habitantes en las ciudades de Cochabamba, La Paz y El Alto por semana epidemiológica, entre enero 2012 y diciembre 2014.

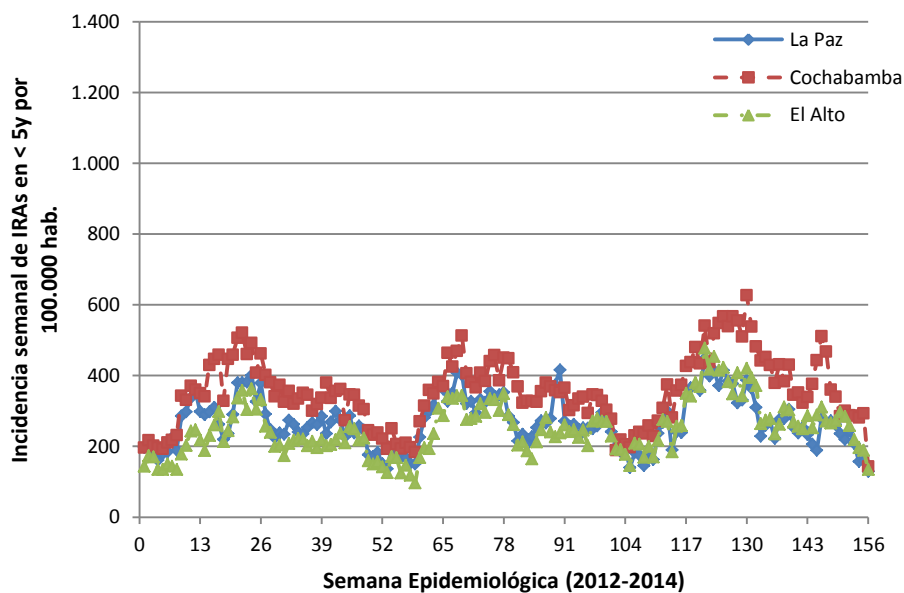


Figura 11: Incidencia semanal de IRAs en menores de 5 años por 100.000 habitantes en las ciudades de Cochabamba, La Paz y El Alto por semana epidemiológica, entre enero 2012 y diciembre 2014.

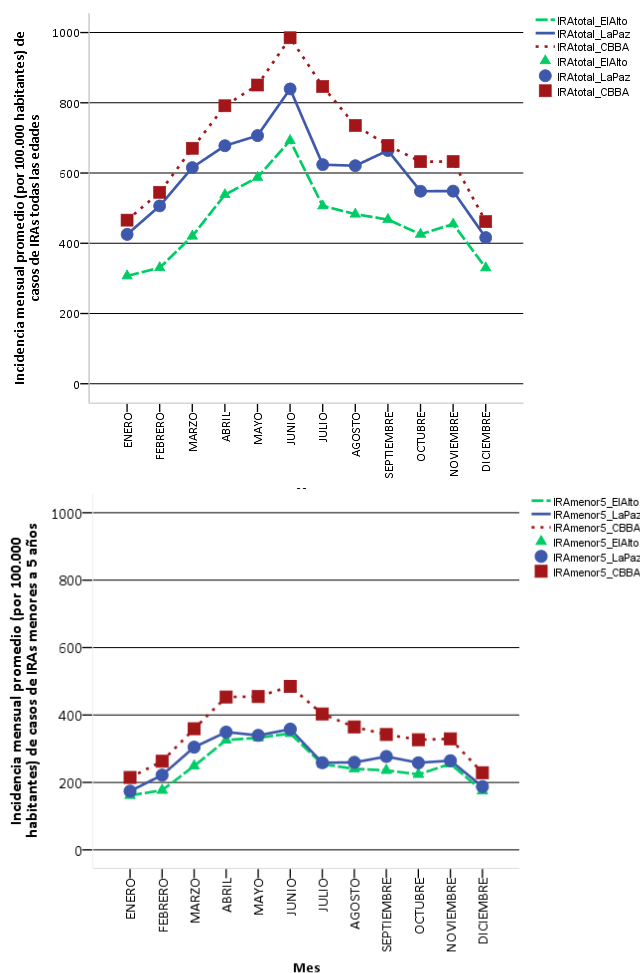


Figura 12: Promedios mensuales de la incidencia semanal de IRAs por 100.000 habitantes entre los años 2012 y 2014 en las ciudades de Cochabamba, La Paz y El Alto.

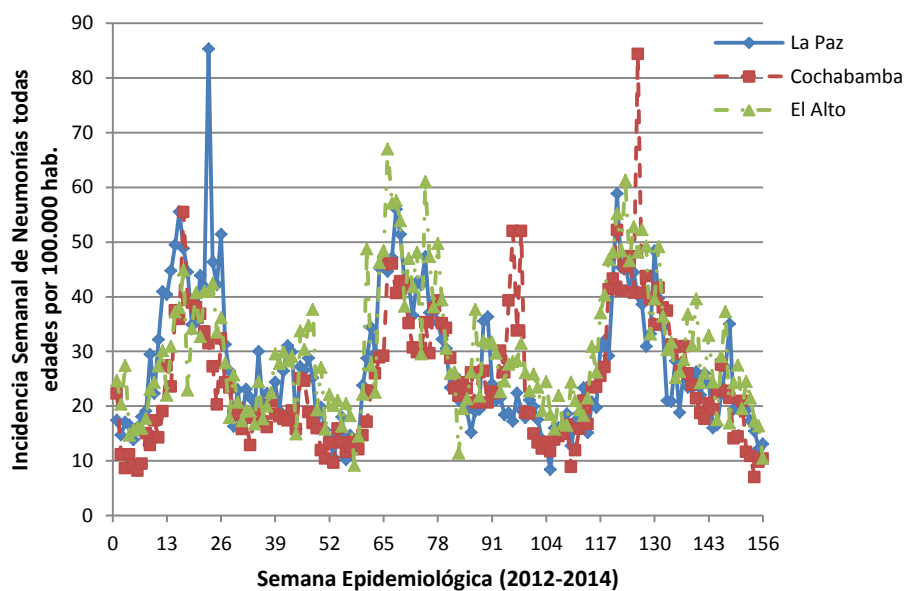


Figura 13: Incidencia de Neumonías Todas Edades por 100.000 habitantes en las ciudades de Cochabamba. La Paz y El Alto por semana epidemiológica, entre enero 2012 y diciembre 2014.

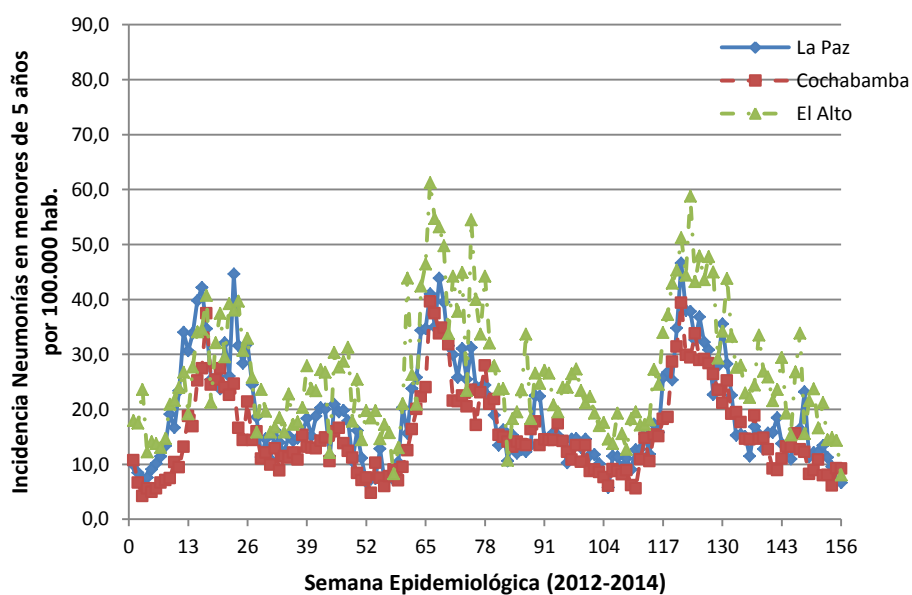


Figura 14: Incidencia de Neumonías en menores de 5 años por 100.000 habitantes en las ciudades de Cochabamba. La Paz y El Alto por semana epidemiológica, entre enero 2012 y diciembre 2014

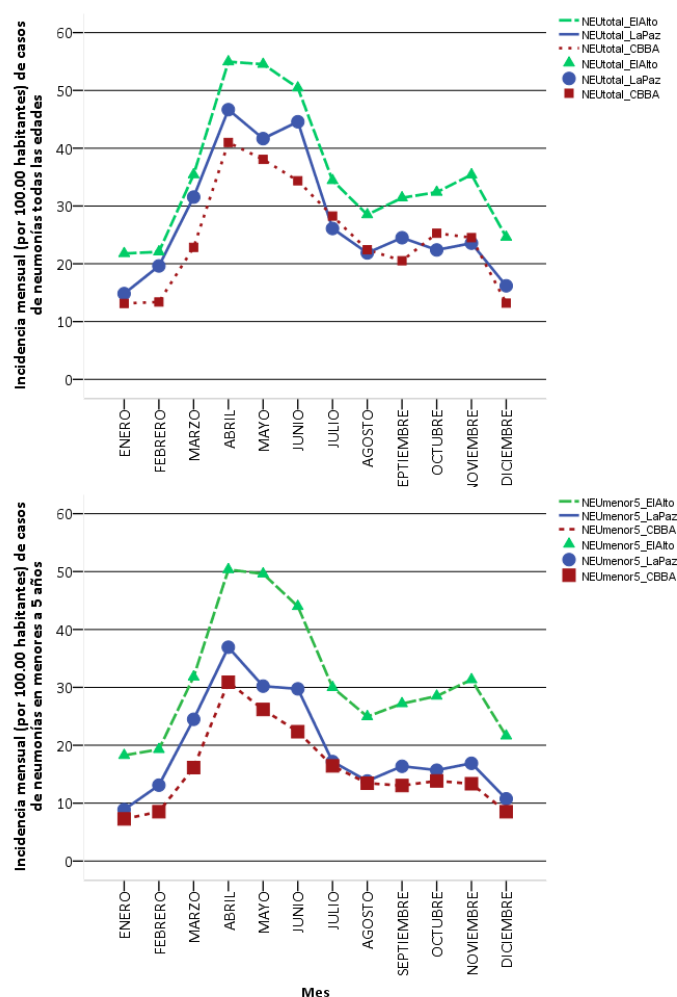


Figura 15: Promedios mensuales de la incidencia semanal de neumonías entre los años 2012 a 2014 en las ciudades de Cochabamba, La Paz y El Alto.

Analizando las gráficas de incidencia de IRAs y neumonías y comparándolas con las gráficas de factores ambientales queda claro debe existir una asociación entre el incremento de la incidencia de casos de estas enfermedades en invierno y los factores climáticos y de contaminación ambiental. En este estudio hemos considerado como factores climáticos relevantes: la amplitud térmica diaria, la temperatura mínima diaria y la humedad relativa mínima diaria. Como factor de contaminación ambiental se consideraron los niveles de PM_{10} (promedios de 24 h), NO_2 (media de 24 h) y Ozono (máximo diario de 8h). Lamentablemente, no se

cuenta con los datos de NO₂ y Ozono en las ciudades de El Alto y La Paz, con la calidad y completitud requerida, por lo que se sólo se consideró la contaminación por PM₁₀ en estas ciudades.

3.4 Determinación de factores de riesgo relativo para factores ambientales y contaminación atmosférica.

A continuación presentamos los análisis de correlación, realizados en las tres ciudades, entre factores ambientales y de contaminación atmosférica e IRAs y Neumonías. Los resultados para los factores de Riesgo Relativo (RR) entre IRAs y factores ambientales y de contaminación atmosférica se muestran en la Tabla 2; los factores de RR entre Neumonías y factores ambientales y contaminación atmosférica se muestran en la Tabla 3.

Los resultados de RR relacionados con factores ambientales muestran que la amplitud térmica tiene una correlación positiva con los casos semanales de IRAs y Neumonías (es decir: a mayor amplitud térmica, más casos de IRAs y Neumonías) en las ciudades de Cochabamba y La Paz, pero no existe correlación en la ciudad de El Alto; cabe recordar que El Alto es también la ciudad más fría y más elevada de las tres. En cuanto a la correlación entre la temperatura mínima y los casos de IRAs y Neumonías, se observa una correlación negativa en la ciudad de La Paz, positiva en la ciudad de Cochabamba (algo extraño, pues se espera que a más frío más enfermos), pero no se encontró ninguna correlación significativa en la ciudad de El Alto. En cuanto a la humedad relativa, se observa en general una correlación negativa entre la humedad mínima y los casos de IRAs y Neumonías en las ciudades de La Paz y Cochabamba, es decir: a menor humedad, mayor incidencia de casos; en la ciudad de El Alto no se pudo establecer esta correlación por falta de datos sobre humedad relativa.

De manera general se observa que los factores ambientales de: amplitud térmica, temperatura mínima y humedad relativa, afectan más en la ciudad de Cochabamba que tiene variaciones estacionales mayores de estos factores, en menor medida en la ciudad de La Paz y en El Alto, estos factores ambientales no tienen incidencia significativa sobre los casos de IRAs y neumonías.

Tabla 2. Factores de riesgo relativo (RR) para Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) en relación a factores ambientales e indicadores de contaminación atmosférica en diferentes ciudades de Bolivia (IC 95%). NC implica que no existe correlación entre la variable de salud y el factor ambiental ($p > 0,05$). Los factores de riesgo relativo para contaminantes se consignan en relación a un incremento de $10 \mu\text{g m}^{-3}$ de dicho contaminante.

Incidencia en la Salud	Factor Ambiental	El Alto		La Paz		Cochabamba	
		RR _i	[Inf.;Sup.]	RR _i	[Inf.;Sup.]	RR _i	[Inf.;Sup.]
IRAs < 5 años	Amp. Térmica	NC		1,0345	[1,0319; 1,0371]	1,03406	[1,03134; 1,03680]
	Temp. Mín	NC		0,9930	[0,9900; 0,9959]	1,03579	[1,03292; 1,03866]
	HRmin	-	-	-	-	0,99476	[0,99427; 0,99526]
	PM ₁₀	1,2745	[1,2268; 1,3223]	1,0571	[1,0525; 1,0617]	1,0212	[1,0181; 1,0243]
	Ozono	-	-	-	-	0,9247	[0,9217; 0,9278]
	NO ₂	-	-	-	-	1,1643	[1,1576; 1,1710]
IRAs > 5 años	Amp. Térmica	NC		1,0157	[1,0134; 1,0180]	1,0035	[1,0021; 1,0050]
	Temp. Mín	NC		0,9442	[0,9418; 0,9468]	0,9566	[0,9549; 0,9584]
	HRmin	-	-	-	-	NC	
	PM ₁₀	1,212	[1,206; 1,218]	1,058	[1,055; 1,062]	1,014	[1,013; 1,016]
	Ozono	-	-	-	-	NC	
	NO ₂	-	-	-	-	NC	
IRAs Total	Amp. Térmica	NC		1,0242	[1,0224; 1,0259]	1,01904	[1,01714; 1,02095]
	Temp. Mín	NC		0,9660	[0,9641; 0,9678]	1,00231	[1,00035; 1,00428]
	HRmin	-	-	-	-	0,99748	[0,99712; 0,99783]
	PM ₁₀	1,3024	[1,2567; 1,3614]	1,0572	[1,0541; 1,0603]	1,0117	[1,0096; 1,0139]
	Ozono	-	-	-	-	0,9475	[0,9454; 0,9497]
	NO ₂	-	-	-	-	1,1281	[1,1234; 1,1329]

Tabla 3. Factores de riesgo relativo (RR) para Neumonías en relación a factores ambientales e indicadores de contaminación atmosférica en diferentes ciudades de Bolivia. Los factores de riesgo relativo para contaminantes se consignan en relación a un incremento de 10 $\mu\text{g m}^{-3}$ de dicho contaminante.

Incidencia en la Salud	Factor Ambiental	El Alto		La Paz		Cochabamba	
		RR _i	[Inf.; Sup.]	RR _i	[Inf.; Sup.]	RR _i	[Inf.; Sup.]
Neumo.<5años	Amp. Térmica	NC		1,0270	[1,0179;1,0364]	1,04915	[1,03616; 1,06230]
	Temp. Mín	1,0082	[1,0033; 1,0131]	0,9896	[0,9786;0,9999]	1,08990	[1,07573; 1,10426]
	HR min	-	-	0,9976	[0,9964; 0,9988]	0,98627	[0,98395; 0,98859]
	PM ₁₀	1,328	[1,302; 1,353]	1,0843	[1,0676; 1,1011]	1,0621	[1,0476;1,0767]
	Ozono	-	-	-	-	0,8059	[0,7919;0,8200]
	NO ₂	-	-	-	-	1,1419	[1,1106; 1,1733]
Neumo.>5años	Amp. Térmica	NC		1,0539	[1,0415;1,0664]	1,0423	[1,0373;1,0473]
	Temp. Mín	NC		NC		NC	
	HR min	-	-	-	-	NC	
	PM ₁₀	1,060	[1,022;1,098]	1,022	[1,001;1,043]	1,013	[1,006;1,020]
	Ozono	-	-	-	-	0,9974	[0,9960;0,9987]
	NO ₂	-	-	-	-	NC	
Neumo. Total	Amp. Térmica	NC		1,0170	[1,0093;1,0248]	1,01199	[1,0211;1,0341]
	Temp. Mín	NC		0,9557	[0,9471;0,9644]	1,05246	[1,04163; 1,06339]
	HR min	-	-	0,9976	[0,9966; 0,9986]	0,98066	[0,97883; 0,98249]
	PM ₁₀	1,2843	[1,2709;1, 2977]	1,046	[1,032;1,056]	1,0609	[1,0493;1,0725]
	Ozono	-	-	-	-	0,8727	[0,8615; 0,8839]
	NO ₂	-	-	-	-	1,1644	[1,1418; 1,1910]

En cuanto a los contaminantes atmosféricos, se observa que el PM₁₀ tiene una correlación positiva con los casos de IRAs y Neumonías en todas las ciudades estudiadas. En la Figura 17: se muestran los valores de RR para IRAs en todas las edades asociados a incrementos de 10 µg m⁻³ de PM₁₀. Se observan fuertes diferencias entre los factores de RR entre las diferentes ciudades. La ciudad del Alto (RR = 30,9%) presenta valores de RR mucho más elevados que La Paz (RR = 5,7%) y Cochabamba (RR = 1,2%). A modo de comparación, un estudio publicado por la OMS da un valor medio estimado de 3,2% para este parámetro (WHO, Regional Office for Europe, 2000). Algo similar sucede con los valores de RR para IRAs en menores de 5 años asociadas a los niveles de PM₁₀ (ver Figura 16:).

En cuanto a los RR para Neumonías asociados al PM₁₀, el comportamiento relativo de los valores entre ciudades es similar al de las IRAs; el mayor valor se observa en El Alto (RR = 28,4%), seguido por Cochabamba (RR = 6,1%) y luego La Paz (RR = 4,6%) para los casos de Neumonías en todas las edades (ver Figura 19:). Es de hacer notar que los valores de RR para Neumonías son mayores para los menores de 5 años en todas las ciudades en relación a los valores de RR para todas las edades (ver Figura 18: y Figura 19:). Como referencia podemos mencionar los valores obtenidos en un estudio realizado en Santiago de Chile por Llabaca *et al.* (Llabaca, Olaeta, Campos, & Villaire, 1999), donde se encontró un valor de RR = 2,3% en el invierno, para incidencia de neumonías en todas las edades asociadas al PM₁₀.

Estos resultados indican que el material particulado que afecta a la población de El Alto tiene un carácter más nocivo que el material particulado existente en La Paz y en Cochabamba. Esta diferencia en toxicidad del material particulado puede estar relacionada con los mecanismos de formación y evolución en la atmósfera del material particulado que se forma en estas ciudades. En El Alto el origen del material particulado es esencialmente las emisiones del parque vehicular que tiene una fuerte proporción de vehículos a gasolina y diesel y el mismo está expuesto a una fuerte radiación solar con una fracción elevada de radiación UV, debido a la altura; estas condiciones favorecen los procesos de transformación fotoquímica de este contaminante y pueden convertirlo en un contaminante más nocivo. Otro aspecto que influye fuertemente en la toxicidad de las partículas es el tamaño; las partículas más pequeñas tienen una superficie específica mayor, por lo que pueden adsorber y vehicular mayor cantidad de otros contaminantes y, por otra parte, penetran con mayor facilidad en los pulmones. Puede que las fuentes de emisión en El Alto generen partículas de menor tamaño que en otras ciudades. En Cochabamba las emisiones de material particulado se deben en gran proporción a la resuspensión del polvo por el tráfico vehicular, además, gran parte del parque vehicular utiliza gas natural, que genera menos emisiones de material particulado y el mismo está expuesto a una radiación UV menor debido a que se encuentra a

menor altura sobre el nivel del mar, estas condiciones desfavorecen los procesos de transformación del material particulado en la atmósfera y hacen que sea menos nocivo.

El NO_2 tienen una correlación positiva con los casos de IRA ($\text{RR} = 12,8\%$, todas edades y $\text{RR} = 16,4\%$ para menores de 5 años) y Neumonías ($\text{RR} = 16,4\%$ para todas las edades y $14,2\%$ para menores de 5 años), en la ciudad de Cochabamba, lamentablemente no se tuvieron datos suficientes en las ciudades de El Alto y La Paz para determinar el RR en estos casos. A modo de comparación, un estudio realizado en Santiago de Chile encuentra valores de $\text{RR} = 2,1\%$ para casos de IRAs asociados al NO_2 y $\text{RR} = 8,2\%$ para casos de Neumonía asociados a NO_2 (Llabaca, Olaeta, Campos, & Villaire, 1999); el programa AirQ recomienda un valor de $7,1\%$ para este RR de neumonías asociados al NO_2 . Podemos apreciar que los valores calculados para Cochabamba son más elevados que los que se reportan en la literatura para otros lugares.

El Ozono, al contrario de lo que se podría esperar y de los resultados que se tienen en otros estudios como los publicados por la OMS (WHO, Regional Office for Europe, 2000) tiene una correlación negativa, con los casos de IRAs y Neumonías en la ciudad de Cochabamba; es decir que, a mayores niveles de Ozono, se tendrían menos casos de IRA y Neumonías. Este resultado nos parecía inicialmente incoherente, pero, analizando estudios previos y la calidad y consistencia de los datos empleados, estamos convencidos que el resultado es correcto. El estudio realizado por Llabaca *et al.* en Santiago de Chile también encuentra una correlación negativa entre los niveles de ozono y la incidencia de Neumonías e IRAs en los meses de invierno (Llabaca, Olaeta, Campos, & Villaire, 1999). Esto se podría explicar por el comportamiento específico de la contaminación en la ciudad de Cochabamba. En esta ciudad se observan elevados niveles de ozono en días despejados y con alta radiación solar y con bajos niveles de contaminación con contaminantes primarios, principalmente PM_{10} y NO_2 , es decir las condiciones para la formación del ozono son favorables en días de baja contaminación y alta radiación solar. Esto se pudo comprobar por los niveles de ozono en el día del peatón en el que no circulan vehículos; este día los niveles de ozono son más elevados que lo normal (Bustillo, 2015).

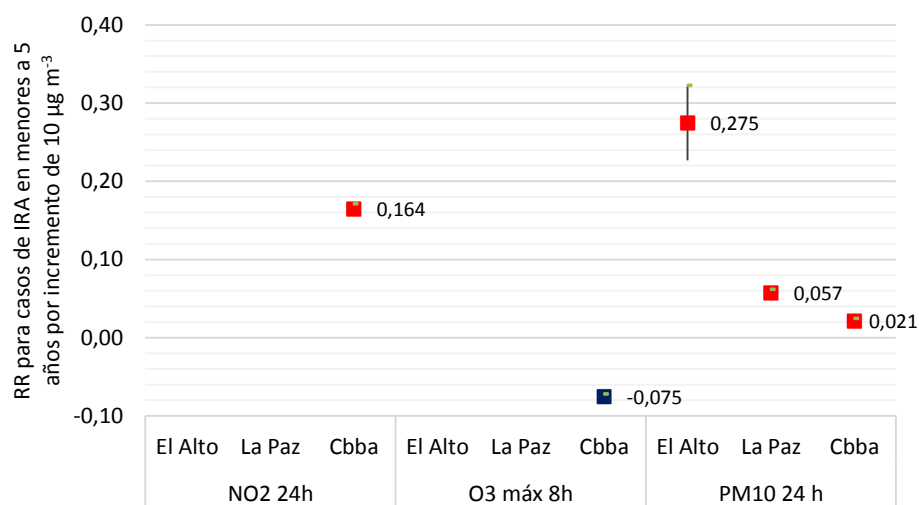


Figura 16: Valores de Riesgo Relativo para IRAs en menores de 5 años en relación a PM₁₀ (promedio 24 h), NO₂ (promedio 24 h) y Ozono (máximo diario de 8h).

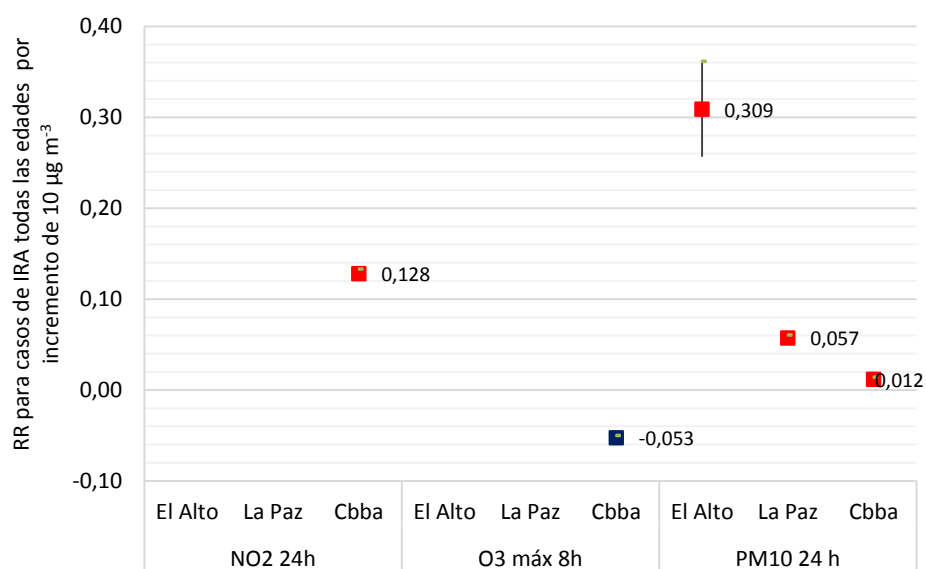


Figura 17: Valores de Riesgo Relativo para IRAs en todas las edades en relación a PM₁₀ (promedio 24 h), NO₂ (promedio 24 h) y Ozono (máximo diario de 8h).

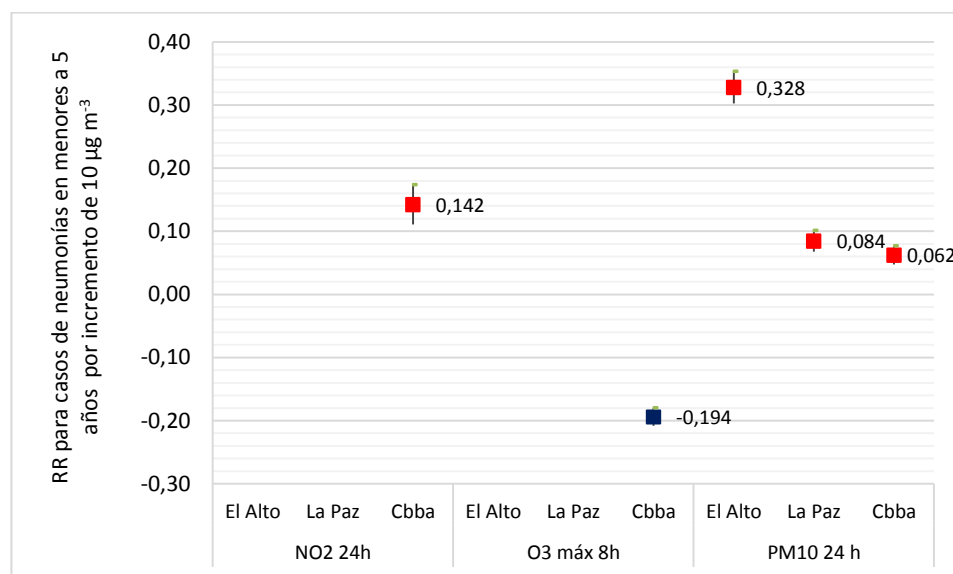


Figura 18: Valores de Riesgo Relativo para Neumonías en menores de 5 años en relación a PM₁₀ (promedio 24 h), NO₂ (promedio 24 h) y Ozono (máximo diario de 8h)

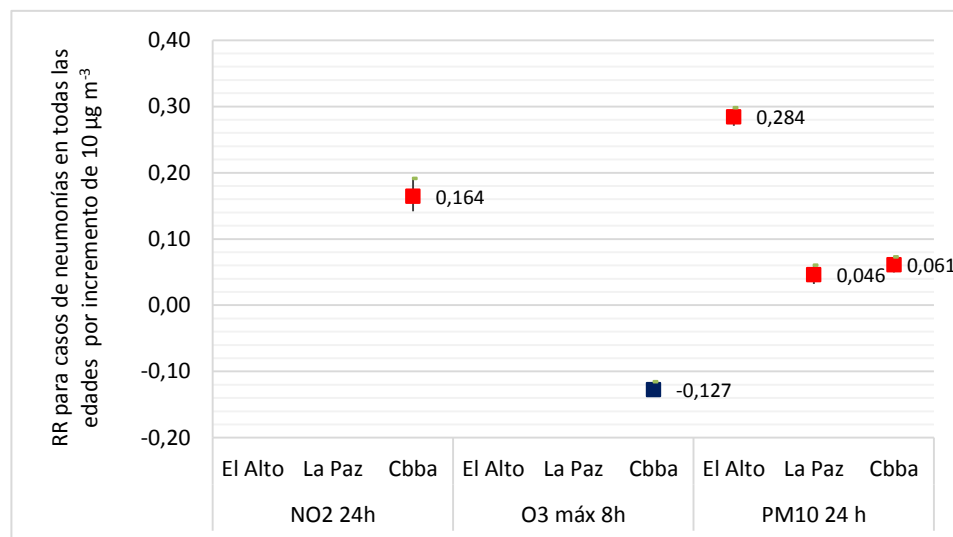


Figura 19: Valores de Riesgo Relativo para Neumonías todas las edades en relación a PM₁₀ (promedio 24 h), NO₂ (promedio 24 h) y Ozono (máximo diario de 8h)

3.5 Evaluación sobre el impacto en la salud de la población

A partir de los valores de RR determinados para el PM_{10} en las tres ciudades, se realizó un análisis comparativo del impacto de la contaminación por este contaminante sobre el número de casos atribuibles de IRAs y Neumonías que se presentan en las ciudades en estudio asociados al PM_{10} . En la Figura 20: tenemos una gráfica que muestra el número de casos de IRAs atribuibles a la contaminación por PM_{10} (promedio de 24 h) en las tres ciudades de estudio y la proporción atribuible en cada caso. Podemos apreciar que la ciudad más afectada por la contaminación por PM_{10} es la ciudad de El Alto, a pesar de que esta ciudad presenta los menores niveles de contaminación por PM_{10} . Notamos además que el impacto tiene una fuerte tendencia a crecer entre los años 2012 y 2014; el número de casos atribuibles pasa de 30.258 a 52.229, en tres años, y la proporción de casos atribuibles incrementa de un 17% a un 20%. La tendencia a aumentar la proporción de casos atribuibles también se presenta en el caso de La Paz, del 7% al 12%, del 2012 al 2013; Cochabamba es la única ciudad que refleja una tendencia a la disminución del número de casos atribuibles y de la proporción de casos atribuibles que pasa de 6% el 2012 al 4% el 2013, para todas las edades y de 11% al 8% para menores de 5 años.

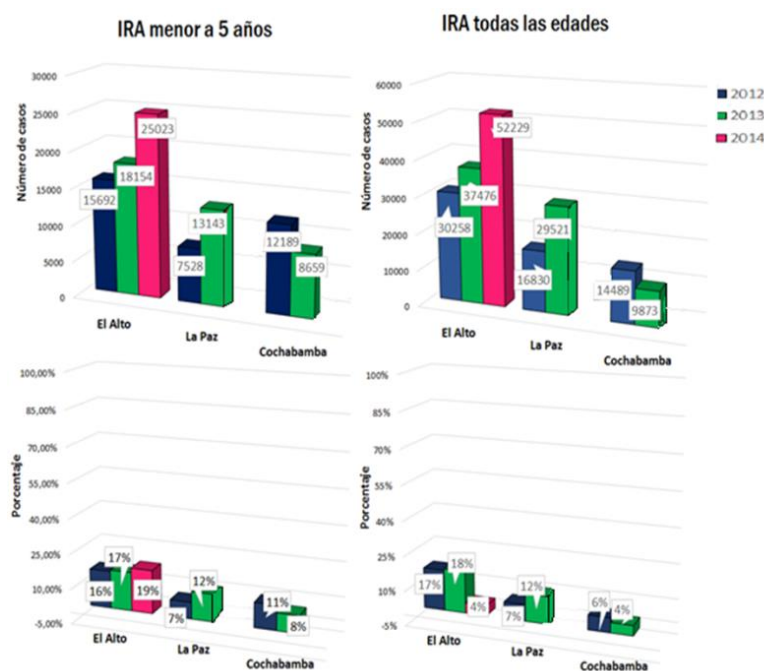


Figura 20: Casos de IRAs y proporción atribuible en menores de 5 años (izquierda) y en todas las edades (derecha) para las ciudades de El Alto, La Paz y Cochabamba, entre los años 2012 a 2014.

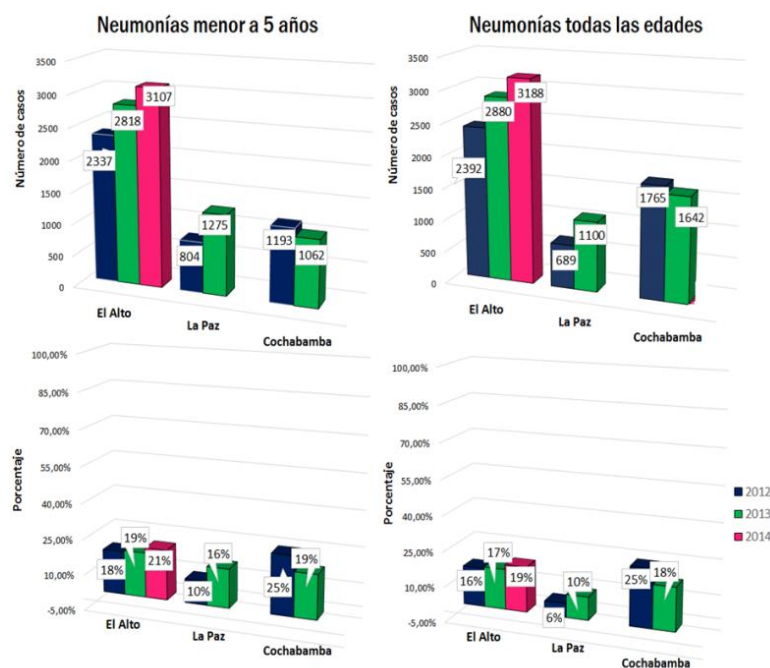


Figura 21: Casos de Neumonías y proporción atribuible en menores de 5 años (izquierda) y en todas las edades (derecha) para las ciudades de El Alto, La Paz y Cochabamba, entre los años 2012 a 2014

El impacto de los niveles de PM_{10} sobre los casos de Neumonías guarda cierta similitud con el impacto sobre las IRAs (ver Figura 21:). El Alto es la ciudad más afectada, con una tendencia creciente entre los años 2012 a 2014, el número de casos atribuibles a la contaminación por PM_{10} sube de 2.392 a 3.188 y la proporción atribuible sube de 16% a 19%, siendo los menores de 5 años los más afectados en este caso, le sigue la ciudad de Cochabamba con un total de 1.765 casos atribuibles el 2012 que baja a 1.642 el 2013. La Paz es la ciudad que tienen menos casos de Neumonía atribuible a la contaminación por PM_{10} , pero su tendencia es a aumentar, asociado al incremento de la contaminación por PM_{10} en esta ciudad.

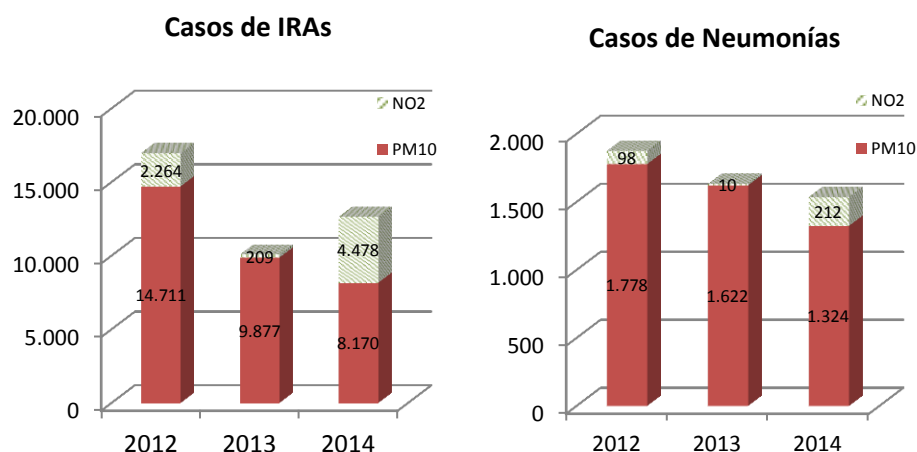


Figura 22: Casos de IRAs y Neumonías para todas las edades en la ciudad de Cochabamba para los años 2012 a 2014, atribuibles a la contaminación por PM₁₀ y NO₂.

En la Figura 22: tenemos los casos para todas las edades de IRAs y Neumonías atribuibles a la contaminación por PM₁₀ y NO₂ en la ciudad de Cochabamba. En estas gráficas podemos apreciar que, en el caso de las IRAs, la contribución del NO₂ en cuanto a impacto en la salud es significativa, sobre todo el año 2014, aunque el PM₁₀ sigue siendo el contaminante de mayor impacto. En cuanto a las neumonías, el PM₁₀ es el contaminante de mayor relevancia.

A partir de la información recopilada en este estudio se hicieron estimaciones sobre las muertes atribuibles a la contaminación atmosférica en la ciudad de Cochabamba. Para ello se tomaron los factores de riesgo relativo para PM₁₀ (24 h, RR = 0,74%), Ozono (máximo de 8 h, RR = 0,51%), SO₂ (promedio de 24 h, RR = 0,4%), recomendados en el programa AirQ desarrollado por WHO *European Centre for Environment Health, Bilthoven Division*. En Cochabamba, los niveles de NO₂ no llegan a producir muertes atribuibles por los bajos niveles de contaminación que se tienen en relación a este contaminante. La Figura 23: muestra el detalle de las muertes atribuibles a estos contaminantes. Podemos observar que el contaminantes que más muertes causa es el PM₁₀, en general más del 92% de las muertes se pueden atribuir a este contaminante. Gracias a la disminución en los niveles de contaminación de este contaminante entre los años 2012 y 2014, se observa una sensible disminución de las muertes atribuibles que disminuyen de, 215 en 2012, a 140 en 2014. Esto nos muestra la importancia de tomar medidas para mejorar la calidad del aire pues en tres años se ha logrado reducir en 75 las muertes asociadas a la contaminación del aire en Cochabamba.

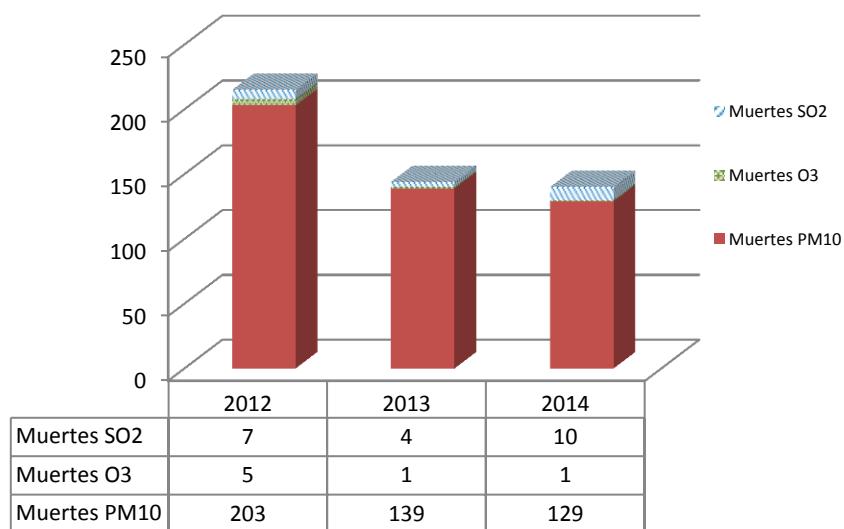


Figura 23: Muertes atribuibles a PM10 (24 h), Ozono (máximo de 8h) y SO₂ (24 h), en la ciudad de Cochabamba para los años 2012, 2013 y 2014.

4 Conclusiones

Los resultados del presente estudio muestran que los factores ambientales tienen una gran influencia sobre la incidencia de enfermedades respiratorias como las IRAs y las Neumonías. La amplitud térmica es un factor de riesgo importante en las ciudades de clima templado y de menor altura como Cochabamba y La Paz, pero no es muy relevante en El Alto. La temperatura mínima es un factor de riesgo importante para las IRAs en Cochabamba y La Paz, pero no lo es en El Alto. La humedad relativa muestra una correlación negativa con la incidencia de estas enfermedades, es decir, a menor humedad más casos de enfermedad. Estas correlaciones son consistentes con la clara estacionalidad que se observa en estas variables ambientales y la estacionalidad de la incidencia de enfermedades respiratorias. En el caso de las IRAs la mayor incidencia se presenta en el mes de junio, asociado a una mayor amplitud térmica, una menor temperatura mínima. En el caso de las Neumonías se observa también una estacionalidad, pero los meses de mayor incidencia son abril, mayo y junio, de manera sistemática en las tres ciudades estudiadas. Es claro que debe existir algún factor ambiental o de contaminación que provoca este comportamiento estacional particular.

Los niveles de PM₁₀ son el factor de riesgo importante tanto para IRAs como para Neumonías en todas las ciudades. Se observa que el riesgo es mucho mayor en El Alto, ciudad de mayor altura, le sigue en nivel de riesgo relativo en La Paz, y luego Cochabamba. Este comportamiento del riesgo puede estar asociado a una

mayor radiación solar y UV que se tiene a mayor altura y a las características específicas del material particulado que se genera en cada ciudad; el material particulado que se genera en El Alto se origina en el parque vehicular que funciona esencialmente a diesel y gasolina y tiende a ser de menor diámetro. Se tendría que hacer un estudio más detallado de la influencia de la radiación en la evolución de este contaminante en la atmósfera.

Los resultados de la evaluación del impacto de la contaminación en la salud de la población partiendo de los valores de riesgo relativo determinados en este estudio, muestran claramente que la población que sufre mayores efectos sobre su salud debido la contaminación atmosférica, en el caso de las IRAs, es la ciudad de El Alto, seguidas por las ciudades de La Paz y luego Cochabamba. En relación a las Neumonías, la ciudad de El Alto es también la que sufre mayores impactos seguida de Cochabamba y luego La Paz.

Los resultados obtenidos nos muestran que las condiciones ambientales y otras características climáticas propias de las ciudades pueden tener una fuerte influencia sobre la toxicidad de los contaminantes presentes en la atmósfera. En consecuencia, es necesario revisar los criterios que se tienen en cuenta para establecer los límites de contaminación permitidos ya que estos valores se aplican a todas las ciudades de un país, sin considerar estas posibles diferencias. Mejorar la calidad del aire en El Alto tendrá una mayor impacto benéfico en la salud de la población que en la ciudad de Cochabamba, por tanto es necesario que las autoridades competentes estén informadas de estas diferencias para tomar las acciones que sean necesarias.

Agradecimientos

Los autores del presente estudio agradecen la colaboración de los responsables de las Redes MoniCA de: El Alto, La Paz, Cochabamba y Santa Cruz por haber puesto a nuestra disposición toda la información sobre contaminación atmosférica. De la misma manera agradecemos a los responsables de SEDES de La Paz, Cochabamba y Santa Cruz por la información epidemiológica sobre IRAS y Neumonías.

Referencias Bibliográficas

- [1] Alem, N., Luján, M., & Bascopé, D. (2005). Impacto de la Contaminación del Aire en Enfermedades Respiratorias Atendidas en el Centro Pediátrico Albina Patiño. *ACTA NOVA*, 3(1), 56-78.
- [2] Ballester, D., J.M. Tenías, J. M., & Pérez-Hoyos, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. *Revista Especial Salud Pública*, 73(2), 110-114.

-
- [3] Bustillo, A. (2015). *Análisis del impacto de la contaminación por material particulado (PM10), dióxido de Nitrógeno (NO2) y Ozono troposférico, en la salud de la población del Municipio del Cercado Cochabamba en el año 2013*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad Católica Boliviana San Pablo, Ciencias Exactas e Ingeniería, Cochabamba.
- [4] Centro Europeo para el Ambiente y la Salud. OMS – Oficina Regional Para Europa. (2001). Recuperado el 12 de junio de 2015, de <http://www.bvsde.paho.org/tutorial/fulltex/guia.pdf>
- [5] IBM Corporation. (2013). IBM SPSS Statistics versión 22.
- [6] Krzyzanowski, M. (1997). Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution. *Occupational and Environmental Medicine*(54), 145-151.
- [7] Llabaca, M., Olaeta, I., Campos, E., & Villaire, J. (1999). Association between Levels of Fine Particulate and Emergency Visits for Pneumonia and other Respiratory Illnesses among Children in Santiago, Chile. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 49, 154-163.
- [8] Microsoft Corporation. (2010). Microsoft Office Professional Plus 2010.
- [9] OMS. (marzo de 2014). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el enero de 2016, de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>
- [10] OMS. (15 de marzo de 2016). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el marzo de 2016, de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2016/deaths-attributable-to-unhealthy-environments/es/>
- [11] Ostro, B. (2004). *Outdoor air pollution: assessing the environmental burden of disease at national and local levels*. Geneva: WHO Environmental Burden Disease Series.
- [12] Saez, M., Pérez-Hoyos, S., Tobías, A., Saurina, C., Barceló, M. A., & Ballester, F. (1999). Métodos de series temporales en los estudios epidemiológicos sobre contaminación atmosférica. *Rev. Esp. Salud Pública*, 73(2), 133-143.
- [13] SENAMHI, Bolivia. (2015). *Servicio Nacional de Meteorología de Hidrología*. Recuperado el junio de 2015, de <http://www.senamhi.gob.bo/>
- [14] WHO, Regional Office for Europe. (2000). Air Quality Guidelines for Europe. *WHO Regional Publications, European Series*(91).
- [15] Zaratti, F. (2003). La radiación ultravioleta solar. En F. Zaratti, & R. Forno, *La radiación ultravioleta en Bolivia* (págs. 37-56). La Paz, Bolivia: LFA-UMSA.