

ARTÍCULO ORIGINAL

Influencia de la variabilidad climática en las enfermedades respiratorias agudas en Bogotá

María Elsa Correal¹, Juan Esteban Marthá¹, Rodrigo Sarmiento²

¹ Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, D.C., Colombia

² Vigilancia en Salud Pública, Secretaría Distrital de Salud, Bogotá, D.C., Colombia

Introducción. La enfermedad respiratoria es una de las principales causas de morbilidad en Bogotá y los efectos de la variabilidad climática se han reflejado en un aumento del número de casos.

Objetivo. En el presente estudio se analizó el comportamiento semanal de la enfermedad respiratoria aguda en Bogotá y se asoció con las variables climatológicas de temperatura, humedad relativa y precipitación, analizando su impacto en la aparición de casos en la ciudad.

Materiales y métodos. El análisis se llevó a cabo mediante la estimación de modelos de regresión de Poisson, con datos epidemiológicos de 104 semanas correspondientes a los años 2011 y 2012. La variabilidad climática temporal se analizó considerando los efectos de las variables en semanas anteriores y, para el análisis de la variabilidad espacial, la ciudad se dividió en cuatro zonas: norte, sur, oriente y occidente.

Resultados. Los resultados de las correlaciones cruzadas demostraron que en tres de las cuatro zonas la humedad relativa tenía un mayor impacto sobre los casos de enfermedad respiratoria aguda y su efecto persistía hasta por ocho y diez semanas. La precipitación, por el contrario, tuvo impacto únicamente en la zona oriente, mientras que la temperatura tuvo efectos moderados en todas las zonas.

Conclusión. Debido al componente dinámico de estos modelos, los resultados son un primer paso para el diseño de un sistema de alerta temprana en salud que tome en cuenta la variabilidad climática.

Palabras clave: enfermedades respiratorias/epidemiología, sistemas de alerta temprana, virus, efectos del clima, análisis de regresión, análisis estadístico.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2456>

Influence of the climate variability on acute respiratory infections in the city of Bogotá

Introduction: Acute respiratory infection is one of the most significant causes of morbidity in Bogota, and its burden of disease has increased in association with climate variability.

Objective: The aim of the study was to evaluate weekly trends of acute respiratory infection in relation to meteorological variables (temperature, relative humidity and cumulative rainfall) in Bogota during 2011 and 2012.

Materials and methods: Epidemiological and meteorological data from 104 weeks were gathered. Temporal variability was taken into account including previous weeks and spatial variability was considered by studying each zone of the city separately (north, south, east, west). Statistical analysis was performed through Poisson dynamic regression models.

Results: The relative humidity had the greater impact on acute respiratory infection and its effects lasted between 8 to 10 weeks. Cumulative rainfall had effects only in the east zone, while the temperature presented mild effects across the four different zones of the city.

Conclusion: Such results are the first step for the design of health-related early warning systems associated with climate variability.

Key words: Respiratory tract diseases/epidemiology, early warning systems, virus, climate effects, regression analysis, statistical analysis.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2456>

Contribución de los autores:

María Elsa Correal y Juan Esteban Marthá: análisis estadístico, identificación y estimación de modelos
Rodrigo Sarmiento: interpretación de los resultados y discusión

Las enfermedades respiratorias agudas se catalogan como una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en el mundo. Según el "Estudio Global de la Carga de Enfermedad", la enfermedad respiratoria aguda es la cuarta causa de mortalidad a nivel mundial, con 2'814.380 casos, y la segunda causa de muertes en menores de cinco años (1). En varios estudios se ha reconocido su importancia para los países en desarrollo, no solo por los efectos en la salud de la población, sino también por las consecuencias económicas que conlleva su manejo (2). En Colombia, a pesar de que según el Ministerio de Salud, la tasa de individuos infectados se encuentra en descenso, la enfermedad respiratoria continúa siendo una de las 10 primeras causas de muerte y discapacidad, lo que la convierte en una de las prioridades en salud pública del país (3,4). Además, la enfermedad respiratoria tiene un alto impacto en la zona urbana, siendo una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en Bogotá y en otras ciudades del país, en particular en menores de cinco años (4,5).

La enfermedad respiratoria sigue patrones temporales, tanto en las latitudes altas como en las bajas. En las latitudes altas se presenta un incremento de los casos en los meses de invierno (6), en tanto que en los países tropicales se presenta con mayor frecuencia durante la temporada de lluvias (7,8). Los escasos estudios hechos en Bogotá también evidencian un patrón estacional en las infecciones respiratorias, que son más frecuentes durante la época de lluvias (9). Sin embargo, en estos estudios se ha recurrido a datos agregados sin tener en cuenta los microclimas y las peculiaridades meteorológicas de Bogotá, cuya zona occidental es menos lluviosa y más seca (10). La variabilidad del clima registra fluctuaciones tanto temporales como espaciales. Las variaciones en el tiempo pueden ser estacionales (cambios mensuales), interanuales (de un año a otro) o de una década a otra.

Los grupos de edad más vulnerables son los niños y los adultos mayores, y las zonas críticas son las de menores ingresos económicos. De las 20 localidades en las cuales está dividida Bogotá,

Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Suba presentan el peor panorama en lo concerniente a la carga de enfermedades respiratorias (11).

La etiología más común de la enfermedad respiratoria es la infección viral, seguida de infecciones bacterianas como las causadas por neumococo. Según los datos del Observatorio de Salud Ambiental de Bogotá, la circulación de los virus respiratorios aumenta durante las temporadas de incremento regional de las precipitaciones. Por otro lado, las infecciones por el virus sincitial respiratorio son las más frecuentes, seguidas por la influenza y la infección por adenovirus (11).

El Sistema de Vigilancia en Salud (Sivigila) agrupa las enfermedades respiratorias en dos categorías: la enfermedad similar a la influenza y la infección respiratoria aguda grave. También, se incluye en el sistema la notificación colectiva de la infección respiratoria aguda.

La enfermedad similar a la influenza es una infección de naturaleza viral muy contagiosa, cuyo efecto puede ser leve y de corta duración o clínicamente grave. Se debe, principalmente, al virus de la influenza, aunque se conocen otros virus que generan un cuadro clínico similar, como el adenovirus, el virus sincitial respiratorio y el de la parainfluenza. La enfermedad se transmite por contacto directo o indirecto entre un individuo infectado y uno vulnerable mediante gotas de las secreciones o por aerosoles (12). La enfermedad tiene varias fuentes de infección posibles, y el tiempo promedio de incubación se estima entre dos y seis días, en tanto que el tiempo de contagiosidad puede ir desde 24 horas antes del comienzo de los síntomas hasta 14 días después.

Bajo la denominación de infección respiratoria aguda grave se agrupan todas aquellas infecciones respiratorias de carácter viral o bacteriano que requieren tratamiento hospitalario y pueden llevar a la muerte. Los principales agentes virales son el virus sincitial respiratorio, el virus de la influenza, el adenovirus y el virus de la parainfluenza. Los agentes bacterianos más comunes son *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae* y *Staphylococcus* spp. (12). Debido a la variedad de las fuentes de infección, el periodo de incubación de las infecciones respiratorias agudas graves varía de manera considerable (entre uno y diez días o más). Lo mismo sucede con el periodo de contagiosidad, que puede ir desde 24 horas antes del comienzo de los síntomas hasta más de cinco días después (13).

Correspondencia:

María Elsa Correal, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes, Carrera 1 este N° 19A-40, Edificio Mario Laserna, piso 7, oficina ML-712, Bogotá, D.C., Colombia
Teléfono: (571) 332 4320; fax: (571) 332 4321
mcorreal@uniandes.edu.co

Recibido: 04/07/14; aceptado: 22/04/15

Por otro lado, en el reciente reporte del *Inter-governmental Panel on Climate Change* (IPCC), se recomienda el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana en salud como una de las principales intervenciones de adaptación al cambio climático (14). Algunas amenazas pueden provenir de eventos extremos singulares o de combinaciones de amenazas, mientras que otras pueden describirse como subrepticias o acumulaciones de eventos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y otras agencias de Naciones Unidas están trabajando para establecer un sistema de alerta temprana de amenazas múltiples debidas a riesgos complejos, como las olas de calor, las amenazas a la seguridad alimentaria y las epidemias (15). El continuo mejoramiento de los sistemas de predicción climática, así como un mayor conocimiento sobre las interacciones entre las condiciones meteorológicas y las enfermedades infecciosas, han motivado iniciativas para el desarrollo de modelos que permitan predecir cambios en las enfermedades infecciosas propensas a generar brotes y epidemias. Estos modelos apuntan a generar alertas tempranas en caso de probables brotes epidémicos, lo que es de gran valor para la preparación y la prevención de epidemias (16). Los modelos de series de tiempo han servido para identificar los periodos de incubación o latencia de ciertas enfermedades infecciosas y predecir sus tendencias, ya que los métodos tradicionales de predicción de variables de respuesta discretas son estáticos y no abordan de una manera adecuada la posible dependencia de la serie de datos ni la dinámica del evento (17). De ahí la necesidad de aplicar modelos dinámicos que consideren las posibles correlaciones e interacciones a nivel temporal.

El objetivo del estudio fue conocer el comportamiento semanal de la enfermedad respiratoria aguda con base en la información sobre la enfermedad similar a la influenza y la infección respiratoria aguda grave en Bogotá, y establecer su asociación con la variabilidad climática durante 2011 y 2012 mediante el análisis de series de tiempo, con el fin de hacer recomendaciones para el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana en salud.

Con este fin, se describió de manera general el comportamiento de las series de tiempo de los casos reportados de enfermedad respiratoria aguda y de las variables meteorológicas consideradas, y se desarrollaron modelos de regresión dinámica

de Poisson, en los que se estudió principalmente la relación entre los casos de enfermedad respiratoria aguda y las variables climáticas, teniendo en cuenta sus valores en instantes pasados.

Materiales y métodos

Descripción de los datos

Los datos sobre los casos de enfermedad respiratoria aguda y los registros históricos de las variables climáticas de la ciudad de Bogotá, se obtuvieron del Grupo de Cambio Climático del Hospital del Sur, del Observatorio de Salud Ambiental de Bogotá y de la Secretaría de Salud de la ciudad. Los datos correspondieron a los registros semanales de 104 semanas del periodo 2011-2012. Durante dicho periodo se presentaron los efectos del fenómeno de El Niño, Oscilación del Sur (ENOS) en su fase de La Niña.

Las fuentes de información de los datos meteorológicos fueron los registros de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá, mientras que los datos de salud se tomaron de las notificaciones sobre la enfermedad similar a la influenza y la infección respiratoria aguda grave en Bogotá, registradas en el Sistema de Vigilancia en Salud Pública, Sivigila.

Vale la pena mencionar que inicialmente el estudio se planteó para el período 2007-2012, pero un análisis exploratorio de los datos arrojó grandes inconsistencias en estos años debido a: (i) los cambios en el sistema de notificación de dicho evento introducidos por el Instituto Nacional de Salud entre 2010 y 2011, y (ii) la gran cantidad de datos faltantes en las variables climatológicas, lo que potencialmente podía restarle validez a los resultados o arrojar resultados erróneos.

La ciudad se dividió en cuatro zonas: norte, sur, oriente y occidente. En el cuadro 1 se muestra que el número promedio de casos fue considerablemente más alto en la zona norte y menor en la zona oriente, mientras que en las zonas sur y occidente fue muy similar. Sin embargo, considerando el número de habitantes por zona, la zona oriente tuvo la mayor incidencia.

En la figura 1 se presenta: a) la evolución del número de casos por semanas epidemiológicas; b) la frecuencia del número de casos semanales, y c) la autocorrelación entre el número de casos en un instante t y el número de casos en instantes anteriores en cada una de las zonas de estudio. En las gráficas se evidenció un pico superior de

Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de los casos de enfermedad respiratoria aguda por zona

Zona	Número de habitantes	Casos de ERA		Casos/número de habitantes por 10.000	
	n	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Norte	2'982.395	30,5	13,6	1,02	0,46
Sur	1'658.271	18,5	12,3	1,12	0,74
Occidente	2'270.645	10,2	5,8	0,45	0,26
Oriente	749.918	15,0	9,1	2,00	1.213,47

ERA: enfermedad respiratoria aguda

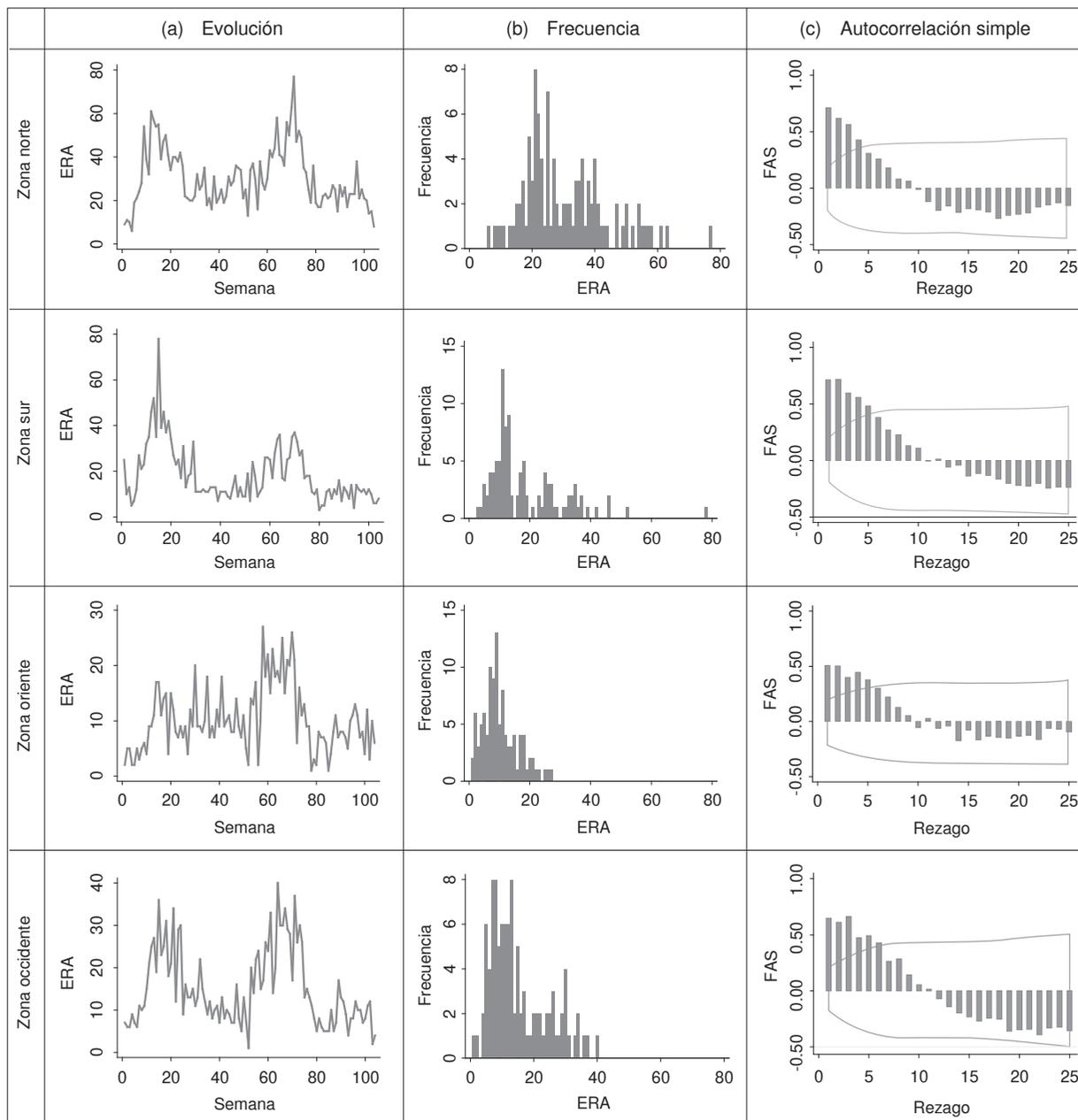


Figura 1. Gráficas del comportamiento de las zonas en que se dividió la ciudad para efectos del estudio. (a) Evolución de casos de enfermedad respiratoria aguda (ERA) en las 104 semanas de estudio. (b) Histograma de frecuencias de los casos de enfermedad respiratoria aguda. (c) Función de autocorrelación simple de cada serie (correlación con sus valores en periodos anteriores)

casos en la primera mitad del año (semanas 5 a 25 y 60 a 80), que disminuyó considerablemente en la segunda mitad del año, especialmente en las zonas norte y occidente. Por último, las funciones de autocorrelación tuvieron un comportamiento similar en las cuatro zonas, con valores altos en los primeros rezagos que fueron descendiendo rápidamente, lo que permitió evidenciar que la variable era estacionaria y tenía una clara dependencia con respecto a sus valores pasados.

Modelo estadístico

Para analizar la relación entre las variables climáticas y el número de casos de enfermedad respiratoria aguda, se estimaron modelos de regresión de Poisson para cada una de las zonas de estudio.

En el modelo de regresión de Poisson se asume que el número de casos en la semana t sigue una distribución de Poisson, cuyo parámetro puede estimarse mediante variables explicativas:

$$y_t \sim \text{Poisson}(\lambda_t)$$

$$\lambda_t = \text{Exp}\left(\beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j X_{j,t}\right)$$

En este caso, las variables X_j incluyeron la temperatura, la precipitación y la humedad en los rezagos 0, 1, 2, ..., 14 semanas. Para ver en mayor detalle los modelos de regresión de Poisson, puede consultarse a Cameron (18).

Resultados

Las variables climáticas analizadas en este estudio fueron la temperatura media (°C), la precipitación (mm) y la humedad relativa (%). Bogotá se encuentra localizada en la Región Andina y se caracteriza por una distribución temporal de lluvias determinada por las características climatológicas de la cuenca del río Bogotá. La temperatura media de la ciudad es de 14 °C, aunque por tener el clima propio del altiplano subtropical la temperatura fluctúa entre los 3 y los 25 °C. En cuanto a la precipitación, la ciudad se caracteriza por tener un régimen con dos períodos de lluvias, presentándose un primer pico entre marzo y mayo, y un segundo pico entre septiembre y noviembre, como consecuencia de su ubicación en la zona de confluencia intertropical (Secretaría de Hacienda de Bogotá, 2012). Además, en el segundo semestre de 2011 y el primero de 2012, se presentó el fenómeno ENOS (El Niño - Oscilación del Sur) en su fase de La Niña. Las lluvias durante el 2011 se asociaron al enfriamiento

de las aguas del océano Pacífico, y noviembre y diciembre fueron los meses con temperaturas más bajas y mayores precipitaciones. Por lo tanto, durante el periodo analizado se presentaron dos escalas de variabilidad climática: la estacional y la interanual.

En el cuadro 2 se muestra que la zona norte presentó un nivel de precipitación considerablemente más alto que las demás, casi tres veces mayor al de las zonas de oriente y occidente. La temperatura promedio semanal fluctuó entre 13,5 y 14,3 °C y no varió sustancialmente entre zonas. La humedad relativa fue más uniforme, siendo mayor en marzo y abril y en los últimos meses del año, y considerablemente más alta en la zona occidental. Las otras tres zonas no presentaron mayor diferencia entre sí.

La estimación del modelo se llevó a cabo por máxima verosimilitud y la selección de los rezagos del modelo se basó en las funciones de correlación cruzada entre el número de casos y las variables de temperatura, precipitación y humedad de cada zona, así como en las pruebas t y las pruebas de razón de verosimilitud con valores de p menores a 0,01. Además, para controlar la autocorrelación, se incluyeron rezagos de la variable dependiente. Los residuos de los modelos definitivos se validaron mediante las gráficas de correlación y la prueba Q de Lyung-Box. Las estimaciones de los modelos de regresión de Poisson para cada una de las zonas, se presentan en el cuadro 3. Al analizar los modelos, se apreció que en las zonas norte, sur y occidente la humedad tuvo un impacto inmediato, mientras que el impacto de la temperatura en las zonas norte, oriente y occidente empezó ocho y hasta 11 semanas después. Por otro lado, se apreció que en la zona de occidente la precipitación no tuvo un efecto significativo, mientras que en las demás zonas su efecto empezó dos y tres semanas después.

La presencia de la variable dependiente rezagada CASOS_{t-1} y CASOS_{t-2} indicó que el efecto de las demás variables explicativas persistió a partir de su primera aparición. En la zona norte, la humedad tuvo un impacto instantáneo que empezó en el mismo instante t y persistió en las semanas 1, 2 y 3, en tanto que en los períodos posteriores el impacto de la precipitación empezó tres semanas después y persistió en las semanas 4, 5 y siguientes, y la temperatura no tuvo impacto en las primeras semanas y su efecto se dejó sentir solo ocho semanas después, persistiendo en las semanas

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de las variables climáticas por zona

Zona	Temperatura (°C)		Precipitación (mm)		Humedad (%)	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Norte	14,2	0,6	106,2	98,8	64,8	3,8
Sur	13,8	0,5	36,9	41,1	65,8	4,7
Occidente	13,5	0,8	34,3	36,9	68,3	4,8
Oriente	14,3	0,5	41,8	46,3	77,1	4,9

Cuadro 3. Modelos de regresión dinámica de Poisson para cada zona

Zona	Modelo
Norte	$CASOS_t = \exp[3,08 + (0,01) CASOS_{t-1} + (0,007) CASOS_{t-2} - (0,1) Temp_{t-8} + (0,0007) Precip_{t-3} + (0,005) Hum_t]$
Sur	$CASOS_t = \exp[(0,014) CASOS_{t-1} + (0,016) CASOS_{t-2} + (0,158) Temp_t - (0,148) Temp_{t-3} - (0,002) Precip_{t-2} + (0,033) Hum_t]$
Oriente	$CASOS_t = \exp[(0,027) CASOS_{t-1} ERA_{t-1} + (0,025) CASOS_{t-2} + (0,12) Temp_{t-5} + (0,0019) Precip_{t-2} + (0,0016) Precip_{t-5}]$
Occidente	$CASOS_t = \exp[3,11 + (0,015) CASOS_{t-1} + (0,013) CASOS_{t-2} + (0,02) CASOS_{t-3} - (0,16) Temp_{t-11} + (0,013) Hum_{t-1}]$

9, 10 y siguientes. El impacto anticipado pudo apreciarse mediante las correlaciones cruzadas entre los casos de enfermedad respiratoria aguda y las variables de temperatura, precipitación y humedad para los rezagos 1, 2, 3, ..., 14 semanas (cuadro 4).

Vale la pena mencionar que de las tres variables climáticas, la humedad presentó la mayor correlación, con una gran persistencia a lo largo del tiempo en las zonas norte, sur y occidente. En la zona norte se destacaron los altos valores de las correlaciones de la humedad, que persistieron hasta ocho rezagos, en tanto que la temperatura lo hizo en un único período, y el efecto de la precipitación se inició en la semana 2 y persistió hasta tres semanas después. En la zona sur se destacó la importancia de las correlaciones con los rezagos 1, 2 y 3 para las tres variables.

Discusión

En el documento CONPES 3550 del 2008, la salud ambiental se define como el área que se encarga de “la interacción y los efectos que, para la salud humana, representa el medio en el que habitan las personas” (19). El impacto de la enfermedad respiratoria aguda en la carga de la enfermedad, la convierte en uno de los principales problemas de salud ambiental en Bogotá, el cual no debería

abordarse solo desde el sector de la salud sino desde un enfoque ecosistémico que involucre a otros sectores en la decisión sobre estrategias e intervenciones (1).

En este sentido, los hallazgos del estudio permiten una aproximación preliminar a los efectos de la variabilidad climática en la enfermedad respiratoria aguda en Bogotá. El modelo explicativo del número de casos esperados permitiría a la red hospitalaria de Bogotá y a los servicios de salud prepararse mejor para un posible incremento de los casos (18). Asimismo, el hecho de que la humedad y la temperatura fueran las variables meteorológicas más relacionadas con el aumento de los casos, indica que deben reforzarse las medidas preventivas, no solo durante los períodos lluviosos, sino a lo largo de todo el año.

Además, este estudio es de utilidad para el diseño de sistemas de alerta temprana que tomen en cuenta la variabilidad climática, pues ofrece el primer diagnóstico de los sistemas de información ambientales y de salud pública, el cual debe considerarse en el marco de la inteligencia epidemiológica (16), y sirve al objetivo de “lograr la generación oportuna de alertas tempranas” consignado en el Sistema Unificado de Información en Salud Ambiental (SUISA) (20).

Cuadro 4. Correlaciones cruzadas entre los casos de enfermedad respiratoria aguda y las variables climáticas por zona

	Rezago														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Zona norte															
Temperatura	0,31*	0,27*	0,17	0,07	0,04	0,02	0,02	-0,06	-0,17	-0,08	-0,11	-0,18	-0,19	-0,09	-0,00
Precipitación	0,19	0,17	0,21*	0,31*	0,27*	0,21*	0,16	0,17	0,17	0,07	0,02	0,08	0,18	0,10	0,16
Humedad	0,31*	0,22*	0,24*	0,40*	0,29*	0,29*	0,28*	0,24*	0,20*	0,06	-0,01	0,00	0,06	0,00	0,03
Zona sur															
Temperatura	0,19	0,19	0,15	-0,01	0,01	-0,02	0,01	0,02	-0,03	-0,06	0,03	-0,03	0,01	-0,06	-0,05
Precipitación	0,09	0,08	0,00	0,12	0,02	0,05	-0,04	-0,06	-0,04	-0,13	-0,10	-0,09	-0,03	0,03	0,06
Humedad	0,35*	0,31*	0,24*	0,38*	0,30*	0,32*	0,25*	0,16	0,19	0,09	0,03	0,04	0,05	0,08	0,07
Zona oriente															
Temperatura	0,01	0,06	0,03	0,05	0,11	0,07	0,12	0,18	0,16	0,20*	0,28*	0,29*	0,25*	0,27*	0,26*
Precipitación	0,22*	0,22*	0,29*	0,19	0,14	0,21*	0,09	0,13	0,14	0,16	0,08	0,12	0,25*	0,27*	0,18
Humedad	0,17	0,09	0,06	-0,01	-0,03	-0,06	-0,09	-0,05	-0,01	0,00	-0,06	0,08	-0,03	0,08	0,10
Zona occidente															
Temperatura	0,08	0,15	0,15	0,06	0,06	0,01	-0,01	-0,03	-0,10	-0,06	-0,01	-0,18	-0,11	-0,07	-0,10
Precipitación	0,20*	0,19	0,23*	0,19	0,18	0,20*	0,20*	0,12	0,14	0,10	0,02	0,07	0,04	0,02	0,14
Humedad	0,25*	0,27*	0,24*	0,30*	0,29*	0,28*	0,37*	0,31*	0,26*	0,30*	0,23*	0,23*	0,23*	0,19	0,27*

ERA: enfermedad respiratoria aguda

* Coeficientes significativos al 5 %

Otra ventaja de incorporar estos modelos de series de tiempo a la vigilancia de la salud ambiental a través de sistemas de alerta temprana, es que, al ser dinámicos, tienen una mayor sensibilidad para detectar los cambios meteorológicos y epidemiológicos que se presenten en los distintos períodos estacionales y en los diferentes años, lo cual constituye uno de los fenómenos emergentes asociados a la variabilidad climática expresados como cambios en los patrones tradicionales de lluvia, la incertidumbre ante los fenómenos de meso-escala y los periodos de lluvias atípicas (21,22).

El desarrollo de la vigilancia es uno de los ejes estratégicos de la política distrital de salud ambiental para Bogotá, la cual se basa en el enfoque de los factores sociales determinantes en salud, según el cual la salud y la enfermedad son el resultado de las interacciones sociales, biológicas, culturales y ambientales, así como de los procesos históricos que se han dado en la sociedad (23). Por lo tanto, la exposición a patógenos biológicos está condicionada, no solo por las características meteorológicas, sino también, por las condiciones de vida y trabajo de las poblaciones, lo que modula su vulnerabilidad frente a la acción de tales agentes (24). El hacinamiento, las viviendas precarias donde hay humedad en las paredes, la exposición al humo de tabaco o a la contaminación del aire, el estado nutricional y la cobertura de la inmunización, interactúan para determinar la frecuencia y la gravedad de la enfermedad respiratoria aguda en Bogotá (25).

Las limitaciones del presente estudio se refieren principalmente a la calidad de las fuentes de información utilizadas, tanto para los aspectos ambientales como de salud pública. En dichas fuentes la información es ante todo sectorial y ello dificulta el análisis conjunto de las variables ambientales y de salud. El fortalecimiento de los sistemas de vigilancia en salud pública en lo concerniente a la enfermedad respiratoria, es uno de los principales retos a nivel mundial. Eventos como la aparición del virus de la influenza aviar en 1996 y del virus pandémico AH1N1 en 2009, lo han demostrado claramente (26,27).

A pesar de que el Instituto Nacional de Salud incluye la vigilancia de la enfermedad respiratoria en el Sivigila, el sistema de reporte ha venido cambiando continuamente, lo que impide tener series de información suficientes y sólidas.

En el presente estudio se planteó inicialmente evaluar el período comprendido entre 2007 y 2012, pero, debido al cambio en el sistema de notificación de la enfermedad similar a la influenza y de la infección respiratoria aguda grave, el análisis debió restringirse a los años 2011 y 2012. Además, se presentó un reporte excesivo de casos en el 2009 debido a la pandemia del virus de la influenza H1N1, lo que hubiera introducido un sesgo en el análisis de la información histórica. Por otro lado, en las series meteorológicas y de salud del período 2007 a 2010, había bastantes datos faltantes y atípicos que impedían modelar la serie de una manera adecuada.

Otra de las limitaciones del estudio resultantes de las características del sistema de vigilancia en salud pública, es que solo se conoce la procedencia de los casos o el lugar de atención y no se tiene en cuenta el sitio de residencia ni de trabajo. Es así que en la zona norte se reporta un mayor número de casos, porque allí se concentra una buena parte de la estructura hospitalaria de la ciudad. En consecuencia, los modelos de series de tiempo se deben complementar con información cualitativa sobre los itinerarios de la población y con modelos de simulación como los modelos de agentes (28,29). Las estrategias mencionadas pueden dar cuenta de la complejidad del fenómeno de la enfermedad respiratoria, y contribuir a la reducción de la morbilidad y la mortalidad que causa.

Como se ha mencionado, la enfermedad respiratoria responde a múltiples causas, por lo que los estudios futuros sobre su morbilidad basados en series de tiempo de conteo, deben incorporar otras variables ambientales y socioeconómicas relacionadas con la enfermedad, como son los niveles de contaminación del aire y otros indicadores de vulnerabilidad socioeconómica de la población.

En conclusión, el estudio de los casos de morbilidad por enfermedad respiratoria y su relación con la variabilidad climática a través de series de tiempo dinámicas, permitiría el modelado de comportamientos epidemiológicos hasta con ocho semanas de anticipación y, por ende, la intensificación de las acciones preventivas orientadas a disminuir su impacto.

Este estudio constituye un primer paso en el diseño de sistemas de alerta temprana en salud pública, lo cual requerirá el análisis de series de tiempo más largas que permitan capturar las distintas escalas temporales de la variabilidad climática (estacional, interanual y entre décadas), así como una adecuada desagregación territorial acorde con las características meteorológicas de cada una de las zonas de la ciudad de Bogotá.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Financiación

El presente estudio no contó con ningún tipo de financiación.

Referencias

1. **Lozano R, Naghavi M, Foreman K, Lim S, Shibuya K, Aboyans V, et al.** Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012;380:2095-128. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61345-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61345-8)
2. **Shapiro E.** Epidemiology of acute respiratory infections. *Semin Pediatr Infect Dis*. 1998;9:31-6. [http://dx.doi.org/10.1016/S1045-1870\(98\)80048-4](http://dx.doi.org/10.1016/S1045-1870(98)80048-4)
3. **Institute of Health Metrics and Evaluation.** Global Burden of Disease Study 2010. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2014. Disponible en: <http://www.healthmetricsandevaluation.org/gbd/visualizations/gbd-heatmap>.
4. **Ministerio de Salud.** Plan Decenal de Salud Pública 2012-2021. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2014. Disponible en: <http://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Plan%20Decenal%20-%20Documento%20en%20consulta%20para%20aprobaci%C3%B3n.pdf>.
5. **Secretaría Distrital de Salud.** Política Distrital de Salud Ambiental. Documento técnico línea de intervención aire ruido y radiación electromagnética. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2014. Disponible en: http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=969c5996-6f71-4c1d-a3b9-504dcc2f706a&groupId=55886.
6. **Dowell SF, Whitney CG, Wright C, Rose CE Jr, Schuchat A.** Seasonal patterns of invasive pneumococcal disease. *Emerg Infect Dis*. 2003;9:574-9. <http://dx.doi.org/10.3201/eid0905.020556>
7. **Omer SB, Sutanto A, Sarwo H, Linehan M, Djelantik IG, Mercer D, et al.** Climatic, temporal, and geographic characteristics of respiratory syncytial virus disease in a tropical island population. *Epidemiol Infect*. 2008;136:1319-27. <http://dx.doi.org/10.1017/S0950268807000015>
8. **Ye Y, Zulu E, Mutisya M, Orindi B, Emina J, Kyobutungi C.** Seasonal pattern of pneumonia mortality among under-five children in Nairobi's informal settlements. *Am J Trop Med Hyg*. 2009;81:770-5. <http://dx.doi.org/10.4269/ajtmh.2009.09-0070>
9. **Boshell J, Molina A, Herrera D.** Una primera visión sobre el impacto del cambio climático en la epidemiología de las infecciones respiratorias agudas en Colombia. *Meteorología Colombiana*. 2001;4:77-86.
10. **Secretaría Distrital de Ambiente.** Informes de Calidad del Aire 2012. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2014. Disponible en: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/ES/informe-anual-calidad-del-aire-de-bogota-ano-2012>.
11. **Secretaría de Salud.** Indicadores. Observatorio de Salud Ambiental de Bogotá 2013. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2014. Disponible en: <http://app.saludcapital.gov.co/observatorio/FrontEnd.aspx?idObservatorio=2>.
12. **Instituto Nacional de Salud.** Protocolo de vigilancia de la infección respiratoria aguda. Fecha de consulta: 30 de octubre de 2012. Disponible en: <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/Subdireccion-Vigilancia/sivigila/Protocolos%20SIVIGILA-PRO-R02.003.0000-010%20IRA.pdf>.
13. **Lessler J, Reich NG, Brookmeyer R, Perl TM, Nelson KE, Cummings DA.** Incubation periods of acute respiratory viral infections: A systematic review. *Lancet Infect Dis*. 2009;9:291-300. [http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70069-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70069-6)
14. **Intergovernmental Panel on Climate Change.** Impacts adaptation and vulnerability. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2014. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>.

15. **Intergovernmental Panel on Climate Change.** Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation SREX. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2014. Disponible en: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf.
16. **Kuhn K, Campbell-Lendrum D, Haines A, Cox J.** Using climate to predict infectious disease epidemics. Geneva: WHO Document Production Services; 2005.
17. **Izurieta H, Thompson W, Kramarz P, Shay D, Davis R, DeStefano F, et al.** Influenza and the rates of hospitalization for respiratory disease among infants and young children. *N Engl J Med.* 2000;342:232-9. <http://dx.doi.org/10.1056/NEJM200001273420402>
18. **Cameron A, Trivedi P.** Regression analysis of count data. First edition. Cambridge: Cambridge University Press; 1998.
19. **Departamento Nacional de Planeación.** Documento CONPES 3350 Noviembre 2008. Fecha de consulta: 14 de marzo 2015. Disponible en: <http://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Conpes%203550.pdf>.
20. **Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).** Elementos estructurales para la construcción del Sistema Unificado de Información en Salud Ambiental 2013. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2014. Disponible en: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=834&conID=1303>.
21. **McMichael A, Woodruff R, Hales S.** Climate change and human health: Present and future risks. *Lancet.* 2006;367: 859-69. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3)
22. **Kovats RS, Bouma MJ, Hajat S, Worrall E, Haines A.** El Niño and health. *Lancet.* 2003;362:1481-9.
23. **Secretaría de Salud de Bogotá.** Política Distrital de Salud Ambiental 2012-2023, noviembre 2011. Fecha de consulta: 14 de marzo 2015. Disponible en: <http://biblioteca.saludcapital.gov.co/ambiental/>.
24. **Diderichsen F, Evans T, Whitehead M.** The social basis of disparities in health. En: Evans T, Whitehead M, Diderichsen F, Bhuiya A, Wirth M, editors. *Challenging inequities in health: From ethics to action.* Oxford: Oxford University Press; 2001. p. 12-23.
25. **Hernández LJ, Aristizábal G, Quiroz L, Medina K, Rodríguez N, Sarmiento R, et al.** Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en menores de 5 años de Bogotá en 2007. *Rev Salud Pública.* 2013;15:552-65.
26. **Mounts AW, Kwong H, Izurieta HS, Ho Y, Au T, Lee M, et al.** Case-control study of risk factors for avian influenza A (H5N1) disease. *J Infect Dis.* 1990;180:505-8.
27. **Vaillant L, La Ruche G, Tarantola A, Barboza P.** Epidemiology of fatal cases associated with pandemic H1N1 influenza 2009. *Euro Surveill.* 2009;14:127-36.
28. **Abadía C, Oviedo D.** Bureaucratic itineraries in Colombia. A theoretical and methodological tool to assess managed-care health care systems. *Soc Sci Med.* 2009;68:1153-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.socscimed.2008.12.049>
29. **Yang Y, Díez-Roux AV, Auchincloss AH, Rodríguez DA, Brown DG.** A spatial agent-based model for the simulation of adults' daily walking within a city. *Am J Prev Med.* 2011;40:353-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.amepre.2010.11.017>