

Impacto del recambio de tecnología de calefacción en la concentración atmosférica por $MP_{2,5}$ y en las admisiones por urgencias respiratorias en Coyhaique, Chile

Effect of the substitution of heating technology on $PM_{2.5}$ levels and number of hospitalizations for acute respiratory conditions in Coyhaique, Chile

Efeito da substituição da tecnologia de aquecimento nos níveis atmosféricos de $MP_{2,5}$ e no número de internações por urgência respiratória em Coyhaique, Chile

Franz Guillermo Muñoz-Ibáñez ¹
Dante Daniel Cáceres-Lillo ^{1,2}

doi: 10.1590/0102-311X00246118

Resumen

Coyhaique, en el sur de Chile, es una de las ciudades más contaminadas de América, debido a la quema de leña. En 2016, se lanzó una sustitución masiva de la tecnología de calefacción residencial para disminuir las concentraciones de partículas de aire en el invierno. Basado en análisis de series de tiempo, el artículo analiza el efecto de esta medida en los niveles de $MP_{2,5}$ y en las hospitalizaciones por afecciones respiratorias agudas en personas menores de 15 años.

Material Particulado; Humo; Contaminación del Aire; Enfermedades Respiratorias

Correspondencia

D. D. Cáceres-Lillo
Programa de Salud Ambiental, Escuela de Salud Pública
Dr. Salvador Allende G., Facultad de Medicina,
Universidad de Chile.
Av. Independencia 929, Santiago / Santiago – 8380453, Chile.
dcaceres@med.uchile.cl

¹ Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
² Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Tarapaca,
Arica, Chile.



Introducción

Diversas ciudades a lo largo de Chile han sido declaradas saturadas por material particulado (MP) durante la última década, es decir, anualmente se sobrepasan reiteradamente los estándares nacionales ^{1,2,3}. En uno de los últimos informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS) ⁴, la ciudad de Coyhaique, en el extremo sur de Chile, fue clasificada como la más contaminada por MP en América Latina, siendo el uso de la leña como combustible para calefacción y cocina a nivel residencial la principal fuente de esta contaminación. De acuerdo con estudios realizados en la región, el 99% de las partículas emitidas serían finas (MP_{2,5}), que son consideradas muy dañinas para la salud ^{5,6,7,8}. Por otra parte, dependiendo de la eficiencia de la combustión, en el humo de leña se pueden identificar una serie de compuestos tales como: metales, gases (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno), hidrocarburos policíclicos aromáticos (muchos carcinogénicos), compuestos orgánicos volátiles (aldehídos, alcoholes, fenoles), compuestos clorados, radicales libres y MP, sulfatos, endotoxinas y constituyentes orgánicos que tienen conocidos efectos adversos en la salud. En Chile, Acuña ⁹, al analizar el perfil de demanda en el Hospital Regional de Coyhaique entre los años 2009 y 2014, reporta que la causa “urgencias respiratorias” contribuye con el 65% de las consultas en la población, siendo el 61% en menores de 15 años. La condición de ciudad saturada ¹⁰, sumada al creciente uso de leña, obligó a la autoridad de medioambiente a formular un Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) el año 2014 ¹¹, cuyo objetivo es reducir las emisiones de MP y cumplir con las normas primarias de calidad ambiental para partículas en un plazo de 10 años, a través de la implementación de estrategias de gestión ambiental (EGAs) integrales de medio y largo plazo. El propósito último del PDA es proteger y cuidar la salud de la población. Las EGAs más relevantes son: el reemplazo de calefactores antiguos a leña, el aislamiento térmico de las viviendas, el uso de leña certificada en cuanto a porcentaje humedad, y la educación ambiental. El reemplazo implica recambio tecnológico de los calefactores (RTC) por otros más eficientes y modernos que usen leña, keroseno o pellet como fuente de energía. Pocos estudios epidemiológicos han estimado el impacto que tiene este tipo de EGAs en la carga de enfermedades en la población.

Un interesante estudio cuasiexperimental conducido en Libby, una localidad rural de Montana (EE.UU.), con características geográficas y meteorológicas muy parecidas a la ciudad de Coyhaique, evaluaron de forma prospectiva (2005-2009) el efecto del recambio de 1.100 calefactores a leña. Los autores reportaron una disminución significativa (27.6%) en los niveles invernales de MP_{2,5} y en las infecciones respiratorias en los niños durante el periodo de recambio ^{12,13}.

En un estudio ecológico de series de temporales, realizado en la ciudad de Launceston, Australia, Johnston et al. ¹⁴ evaluaron el efecto de las estrategias implementadas para reducir la contaminación por la combustión de leña sobre los indicadores de morbilidad y mortalidad por causa respiratoria. En este estudio, se observó una reducción del 60% en los niveles de MP₁₀, en un periodo de 6,5 años post implementación de las estrategias, sin embargo, esta no se reflejó claramente en los indicadores de salud evaluados.

Coyhaique es una ciudad cuya principal fuente de partículas a nivel atmosférico proviene casi exclusivamente de la combustión de leña, lo que nos permite evaluar el impacto de las estrategias orientadas a disminuir los niveles de MP sobre la morbilidad respiratoria aguda, sin los posibles sesgos e interferencias por otras fuentes de emisión, principalmente móviles. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el impacto del número de RTC sobre el número de admisiones hospitalarias por urgencia respiratoria en invierno, considerando el eventual impacto de esta acción sobre las concentraciones atmosféricas de MP_{2,5}.

Métodos

Se realizó un estudio ecológico de series de tiempo que utiliza datos recopilados de concentración atmosférica promedio de MP_{2,5} y admisiones hospitalarias asociadas a urgencias respiratorias en dos periodos de tiempo, con y sin RTC, ajustando por la variable de temperatura de punto de rocío (TR°C).

Área de estudio

Coyhaique es una pequeña ciudad de 7,3km² localizada en el extremo sur de Chile con coordenadas 45°34'S y 72°04'O. Con un clima frío, húmedo, rodeada por cadenas de montañas que impiden una adecuada ventilación, principalmente en periodo de invierno. Según datos del Censo de 2017 (<http://www.censo2017.cl>, accedido el 15/Mar/2018), en la ciudad hay 22.000 viviendas y habitan 57.818 personas, 23.3% menores de 15 años, 67.8% entre 15-64 años y 8.9% mayores de 65 años.

Períodos de estudio

Considerando que a partir del 2016 se inician los RTC, los datos analizados del período con RTC son referentes a aquel tiempo-calendario, que va entre el 3 de mayo al 5 de agosto de 2016 (98 días). Por otro lado, los datos analizados del período sin RTC se obtuvieron del mismo periodo tiempo-calendario, pero del año 2014.

Datos

La concentración atmosférica promedio horaria y diaria de MP_{2,5} (μg/m³) fue obtenida de la Estación de Monitoreo de Calidad del Aire “Coyhaique I” con representatividad poblacional (EMCA-Coy1). Los datos de temperatura ambiental (T°C) y humedad relativa del aire (%HR) fueron obtenidos de la misma estación. Los datos de salud son referentes al número diario de ingresos hospitalarios por “urgencia respiratoria” (códigos J01-J06 y J20-J21 en la Clasificación Internacional de Enfermedades, 10ª Edición -CIE-10) en el grupo etario entre 4 y 15 años, que se obtuvieron de la unidad de estadísticas del Hospital Regional de la Ciudad de Coyhaique. La información de los RTC a nivel residencial fue obtenida de la Secretaría del Ministerio del Medio Ambiente de la Región de Aysén.

Análisis de los datos

Se realizó un análisis descriptivo y exploratorio diario de los datos de cada variable a través de gráficos *boxplots*. La estructura de dependencia temporal entre variables fue evaluada con modelos lineales generalizados (GLM) y modelos aditivos generalizados (GAM). Para el modelado de los datos de urgencias respiratorias se usó la distribución de Poisson¹⁵, ya que estos son eventos de recuento discreto, ajustando el siguiente modelo:

$$y = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2) \text{ y Poisson } (n, p)$$

Donde y es la variable dependiente, es decir el número (n) diario de admisiones hospitalarias relacionadas con urgencias respiratorias, β_0 es el intercepto del modelo, y β_i es el coeficiente lineal asociado a la i -ésima variable independiente x_i , por lo que la expresión $\exp(\beta_i)$ puede interpretarse como el riesgo relativo (RR) de ocurrencia de un evento de interés, asociado a la diferencia de una unidad en la variable independiente. La variable x_1 representa los “niveles de concentración” de MP_{2,5}; que se evaluaron en el modelado estadístico bajo dos modalidades: como variable continua, es decir, la concentración promedio diaria (CPD) de MP_{2,5}; o discreta, como el número de horas al día en que se supera la norma diaria de 50μg/m³ (HD50). La variable x_2 es la TR°C que representa la saturación de vapor de agua en el aire. En este trabajo el punto de rocío fue estimado usando la fórmula de Magnus que considera T° y %HR^{16,17}.

Considerando la existencia de desfase temporal entre la exposición a $MP_{2,5}$ y el efecto registrado, previo al modelado estadístico y la estimación de sus coeficientes de regresión, se ajustó los datos a través de la función polinomial distributiva (PDL) del GLM (GLM-PDL) ¹⁸. En este trabajo utilizamos una función polinomial cúbica, distribuida desde cero (T0) hasta el cuarto día de rezago (T+4). Después de elegir el día, los resultados de la regresión de Poisson se expresaron como una estimación del RR con su respectivo intervalo de confianza del 95% (IC95%). Posteriormente, se estimó el aumento porcentual del riesgo (PIR%) en ambos periodos por urgencias respiratorias, de acuerdo con la siguiente expresión ¹⁹:

$$\widehat{PIR\%} = \exp(\widehat{\beta}_1 \times \Delta - 1)$$

Donde Δ es la variación en los niveles de $MP_{2,5}$ y $\widehat{\beta}_1$ es el coeficiente estimado en el GLM-PDL. Finalmente, para cuantificar la magnitud de modificación del riesgo de ingresos por urgencias respiratorias, propiciada por el RTC durante el periodo de 2016, se usó la función tensor para GAM del paquete *mgcv* ^{20,21} del software R (<http://www.r-project.org>), que permite ingresar un término de interacción ($RTC \times MP_{2,5}$) al modelo evaluado.

Resultados

La Figura 1 muestra el plano de la ciudad, la ubicación de la estación de monitoreo EMCA-Coy1 y el número de RTC realizados según distrito censal. Estos se concentran mayoritariamente en la zona central de la ciudad en una franja que va de este a oeste.

La Tabla 1 presenta la distribución de los tipos de calefactores recambiados, estratificado por aislamiento térmico de la vivienda. De esta se desprende que el 85% (788/925) de los reemplazos se realizó en viviendas que no estaban térmicamente aisladas. Por otra parte, la distribución del tipo de calefactor reemplazado no fue significativamente diferente dependiendo del aislamiento, siendo la mayoría de los calefactores a leña (54%) o keroseno (42%). Un 84% (115/137) fueron aisladas entre el año 2014 y 2015, el resto el año 2016 e incluso el 2017.

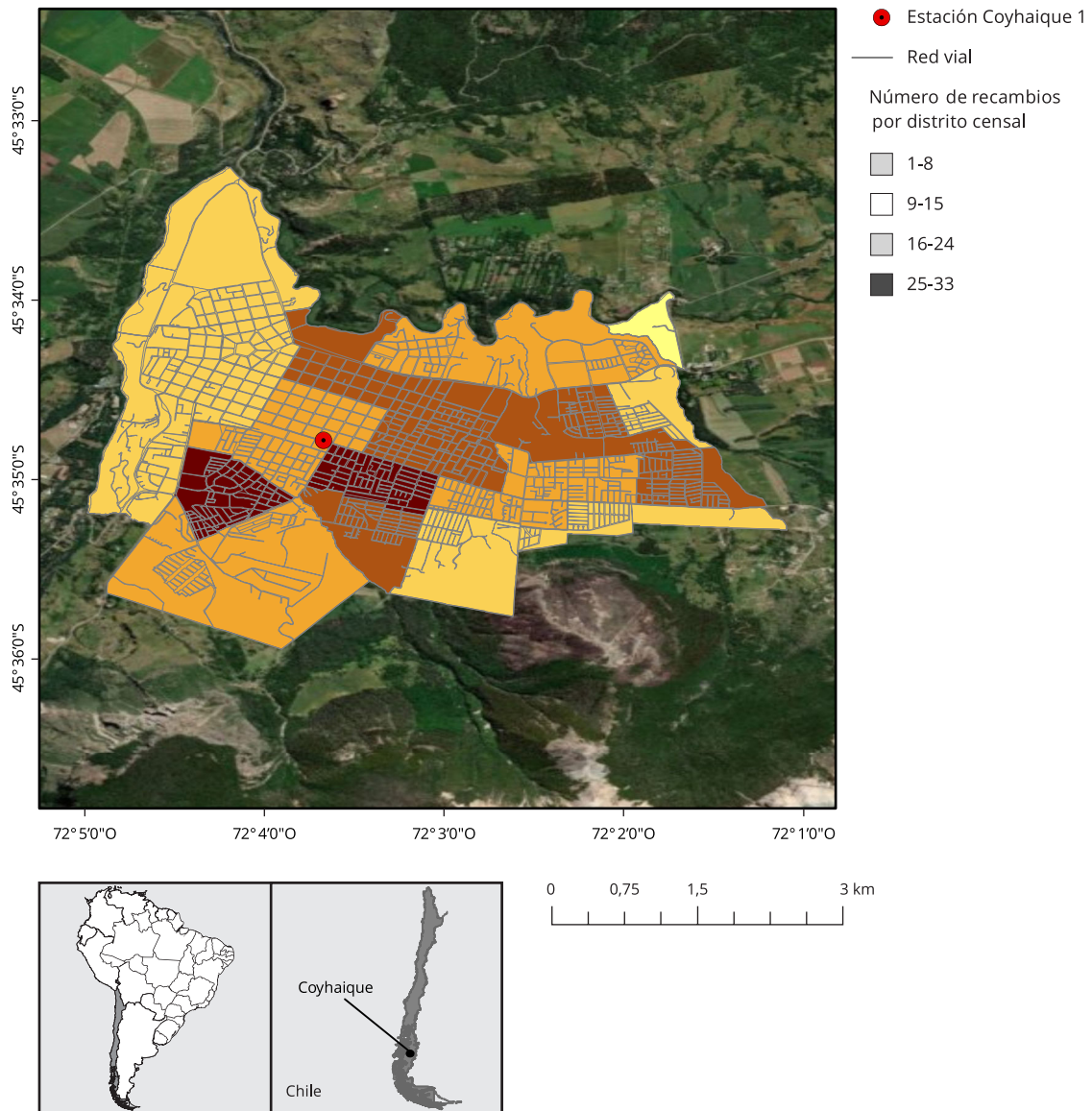
En la Tabla 2 se presentan las estadísticas descriptivas de los datos recogidos para los periodos en estudio. El 3 de mayo de 2016 comenzó el programa de RTC y durante 98 días consecutivos (hasta el 5 de agosto) fueron renovados en promedio casi 10 por día. En 2014, se presentaron el doble de urgencias respiratorias comparado con el año 2016; de las cuales $\frac{3}{4}$ corresponden, en ambos periodos, al grupo etario de 4 a 15 años. Por otra parte, la CPD de $MP_{2,5}$ en 2014 fue levemente menor que 2016, presentando en ambos periodos una alta y similar variación. Al calcular las HD50, el 2016 hubo un menor porcentaje de horas (7,4%) sobre la norma de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ para $MP_{2,5}$ comparado con 2014. En cuanto a la TR°C, el 2016 presentó una alta variación y fue 1,5 veces mayor comparado con lo observado el año 2014.

La Figura 2 muestra la distribución diaria de las concentraciones horarias (cada 24 horas) de $MP_{2,5}$ durante ambos periodos de estudio. También se grafica para el año 2016 en número absoluto acumulado de RTC para el periodo. El mes de mayo del 2016, cuando comienzan los recambios, los valores de $MP_{2,5}$ consiguen alcanzar más de $500\mu\text{g}/\text{m}^3$; en el mes de julio, cuando el número de recambios superó los 750 calefactores, los valores observados de $MP_{2,5}$ no superan los $300\mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante el año 2014, cuando no hubo recambio, la tendencia en los niveles de concentración de $MP_{2,5}$, fue al aumento en los meses de junio y julio superando con creces los $500\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el 2016, los niveles más altos fueron observados a fines de mayo, y los menores en julio. Por otra parte, como se observa en ambos periodos; la distribución de las urgencias respiratorias se concentró preferentemente entre junio y julio, siendo en términos absolutos altamente variable y de mayor magnitud el año 2014 comparado con el 2016. A su vez, se puede apreciar que el patrón de TR°C es inversamente proporcional al número de urgencias diarias. Este fue más constante en el 2016, donde la TR°C fue mucho más baja.

La Figura 3 muestra la estructura de desfase temporal de los coeficientes de regresión estimados para HD50 y CPD en ambos periodos estimados por GLM-PDL. En el periodo de 2014, los coeficientes de la variable HD50 mostraron valores positivos y significativos para los desfases de tiempo T+1, T+2 y T+3, siendo que para la variable CPD los valores estimados no fueron significativos. En 2016,

Figura 1

Mapa de la ciudad de Coyhaique, Chile, con el número de recambio de tecnología de calefacción (RTC) por distrito censal, año 2016.



ocurre una situación diferente, los coeficientes para HD50 mostraron valores positivos y significativos para T0, T+1 y T+4, siendo que para CPD fue solo T0.

Considerando los resultados del GLM-PDL (Figura 3), se estimó el PIR% para ambos periodos, usando la variable HD50 con un día de desfase (T+1) ¹⁹.

La Tabla 3 muestra los valores estimados ajustados por los niveles de TR°C, ajustando un modelo para los periodos estudiados (con y sin RTC). El PIR% de hospitalizaciones por urgencias respiratorias en el periodo 2014 fue el doble respecto del 2016, calculado como el porcentaje de cambio en el número de urgencias respiratorias por cada 10 horas de variación (Δ) de exposición a concentraciones de MP_{2,5} superiores a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 1

Recambio de tecnología de calefactores (RTC) y aislación térmica de la vivienda. Del 3 mayo al 5 agosto de 2016, Coyhaique, Chile.

Calefactor	Aisladas n (%)	No aisladas n (%)	Total n (%)
Leña	81 (59,12)	419 (53,17)	500 (54,05)
Keroseno	51 (37,23)	339 (43,02)	390 (42,16)
Pellet	5 (3,65)	30 (3,81)	35 (3,78)
Total	137 (100,00)	788 (100,00)	925 (100,00)

Tabla 2

Datos agrupados para los periodos comprendidos entre el 3 mayo al 5 agosto del año 2014 (sin recambio) y 2016 (con recambio). Coyhaique, Chile.

	2014 (sin recambio)	2016 (con recambio)
Número total de RTC (periodo de invierno)	0	925
Número de ingresos hospitalarios por urgencia respiratoria (periodo de invierno)		
Grupo de 4 a 15 años	180	89
Total	240	117
Promedio diario	1,8	0,9
CPD-MP _{2,5} (µg/m ³) [promedio diario del periodo (DE)]	140,1 (113,1)	148,1 (113,4)
HD50-MP _{2,5} (horas > 50µg/m ³) [número de horas totales del periodo]	1.501	1.390
HD50-MP _{2,5} (horas > 50µg/m ³) [promedio diario del periodo (DE)]	16,14 (6,43)	14,95 (6,69)
TR°C [promedio diario del periodo (mínima; máxima)]	1,04 (-2,73; 0,12)	0,69 (-5,28; 6,48)

CPD: concentración promedio diaria; DE: desviación estándar; HD50: número de horas diarias sobre la norma diaria de 50µg/m³; MP: material particulado; RTC: recambio de tecnología de calefacción; TR°C: temperatura punto de rocío.

La Tabla 4 muestra el coeficiente lineal estimado por GAM, usando la variable HD50 con y sin el factor de interacción RTC el año 2016. La inclusión de un término de interacción ($RTC \times MP_{2,5}$) en la ecuación significa que el efecto del RTC es retirado del coeficiente de regresión del HD50, por lo tanto, en el modelo ajustado con factor de interacción RTC (+) el coeficiente de HD50 estimado fue menor que al estimarlo sin tal interacción RTC (-). Aunque la inclusión de la interacción modifica el PIR% de urgencias respiratorias del modelo en +1%, esta mejora la desviación explicada (ajuste del modelo) en +57%. Es decir, hubo un 1% de los casos que se evitaron producto del recambio de calefactores. Considerando que durante el periodo hubo 117 casos en total, la estimación es de 13 casos que eventualmente se evitaron por el impacto del RTC durante el invierno del año 2016, respecto a igual periodo durante 2014 (sin RTC).

Figura 2

Boxplot de las concentraciones horarias de MP_{2,5} con el número acumulado de recambio de tecnología de calefacción (RTC) en el tiempo; Número de ingresos hospitalarios por urgencia respiratoria y temperatura de punto de rocío (TR°C).

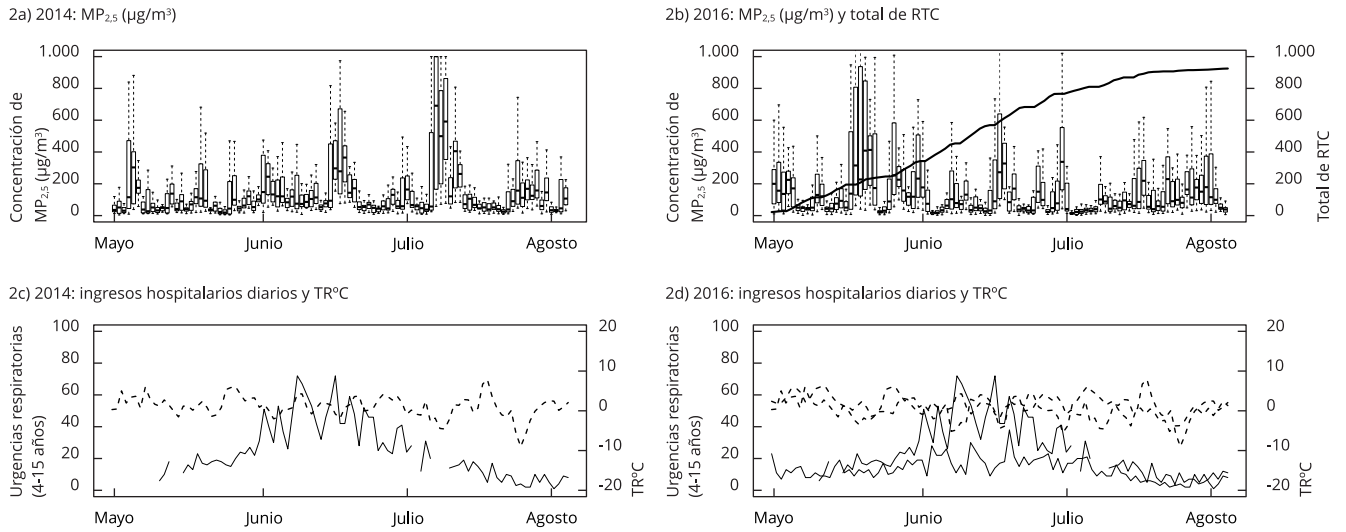
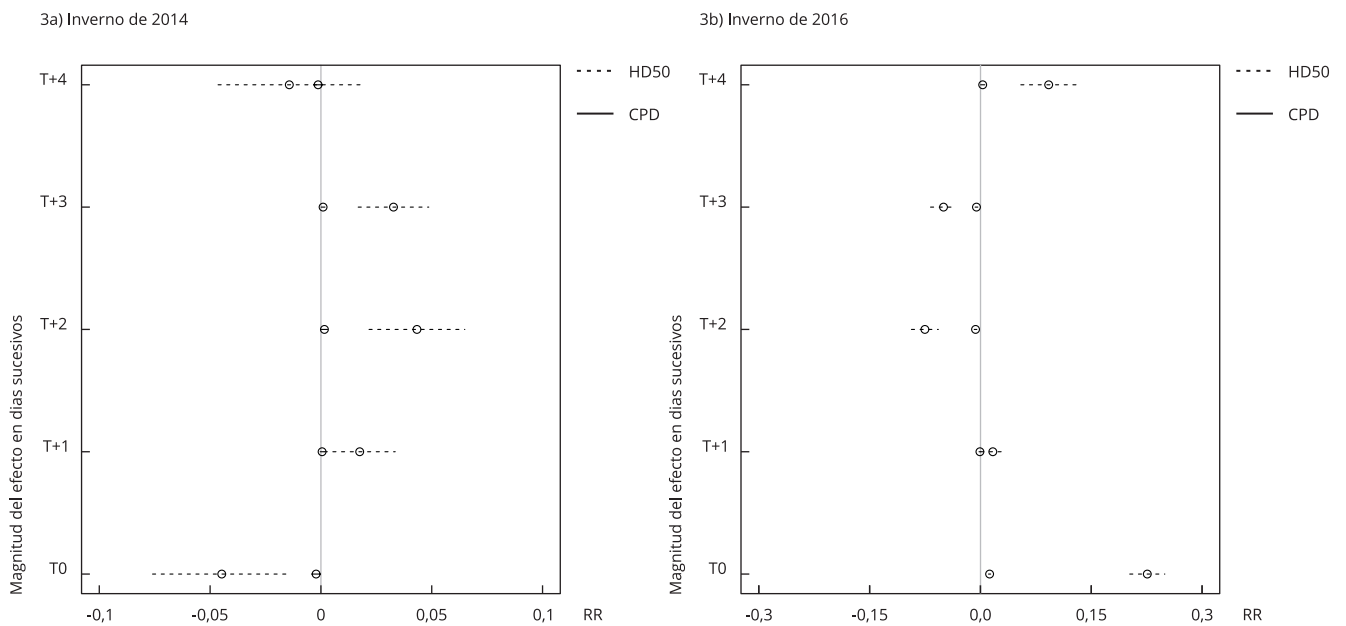


Figura 3

Logaritmo del riesgo e intervalo de confianza del 95% (IC95%), según los niveles de MP_{2,5}, a través de 4 días sucesivos (T+4) de concentración promedio diaria (CPD) y número de horas diarias sobre la norma diaria de 50µg/m₃ (HD50) para el periodo de invierno de los años 2014 y 2016.



RR: riesgo relativo.

Tabla 3

Coefficientes de regresión (modelos lineales generalizados -GLM) e intervalo de confianza del 95% (IC95%) para HD50 y porcentaje del incremento del riesgo (PIR%) por urgencias respiratorias.

Periodo de invierno (año)	RTC	β_1	IC95%	PIR%	AIC	D%
2014	Sin	0,048	0,047; 0,049	59,0	1.240,0	12,8
2016	Con	-0,022	-0,023; -0,021	29,0	656,8	10,4

β_1 : coeficiente de regresión; AIC: criterio de información de Akaike; D%: porcentaje de la desviación explicada; HD50: número de horas diarias sobre la norma diaria de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; PIR%: porcentaje del incremento del riesgo; RTC: recambio de tecnología de calefacción.

Tabla 4

Estimación de coeficientes de regresión de Poisson por modelos aditivos generalizados (GAM) con desfase de 1 día según "presencia" del factor de interacción recambio de tecnología de calefacción (RTC) y porcentaje del incremento del riesgo (PIR%) por urgencias respiratorias.

Factor	β_1	IC95%	PIR%	D%
RTC (+)	-0,022	-0,023; -0,021	29,0	10,4
RTC (-)	-0,018	-0,019; -0,017	30,0	67,4

β_1 : coeficiente de regresión; D%: porcentaje de la desviación explicada; IC95%: intervalo de confianza del 95%.

Discusión

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto de la estrategia de gestión ambiental RTC sobre las cifras de admisiones hospitalarias de urgencia en el grupo etario de 4 a 15 años, considerando su efecto sobre los niveles de concentración ambiental de $\text{MP}_{2,5}$ en la ciudad de Coyhaique.

Los resultados de este trabajo son complementarios a otros estudios donde se evidencia el efecto que tienen las acciones de RTC residencial a leña sobre los niveles atmosféricos de $\text{MP}_{2,5}$ y en la salud humana ^{12,14}. Se pudo determinar que el recambio se asoció a un riesgo inferior a la unidad, es decir, hubo una disminución del número de ingresos hospitalarios por urgencia respiratoria, comparado con el periodo sin recambio. En otras palabras, se observó un efecto de protección de la intervención en el grupo de edad estudiado, lo cual podría estar explicado, en parte, por la disminución del número de horas-día sobre las concentraciones de $\text{MP}_{2,5}$, definidas como de riesgo para la salud de la población en la normativa chilena.

Considerando que 925 calefactores dejaron de emitir de forma potencial en promedio 40g/h de $\text{MP}_{2,5}$ a la atmósfera; y asumiendo que estos permanecen operativos en promedio 12 horas al día ²², la disminución total de emisiones durante el periodo de estudio fue mayor a 43,5 toneladas de $\text{MP}_{2,5}$ en un territorio de 7,3km² de superficie. Es importante hacer notar que, del total de reemplazos de calefactores, el 43% fue por keroseno, el resto con tecnología que usa leña en sistemas más modernos y eficientes desde el punto de vista de la combustión, y que operan con leña con bajo porcentaje de humedad. Por otra parte, sólo un 14,8% de estas viviendas con RTC fueron térmicamente aisladas previamente, por lo que podemos deducir que el impacto de estos recambios sobre los niveles de concentraciones de partículas atmosféricas debiera potenciarse al aislar la totalidad de las viviendas. El aislamiento térmico de las viviendas es un factor fundamental en la eficiencia del programa de RTC, debido a la menor cantidad de combustible a ser usado. De acuerdo al estudio realizado por la Dirección de Investigación Científica y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile

(DICTUC) el año 2015, las viviendas aisladas disminuyen en promedio un 50% la cantidad de leña usada para calefacción ²³.

En el presente estudio utilizamos como medida de riesgo el número de horas diarias (HD50) que la población está potencialmente expuesta a concentraciones superiores a 50µg/m³ de MP_{2,5}, situación que responde al comportamiento bimodal de las concentraciones horarias de MP_{2,5} durante el día. El uso del valor promedio máscico diario (CPD) presenta una fuerte sobredispersión de valores lo que genera una baja resolutiveidad en la estimación de los riesgos en la salud. Otros estudios que también evalúan el riesgo de contaminantes atmosféricos usando la variable CPD y admisiones hospitalarias, debido a enfermedades respiratorias en niños y adolescentes, también muestran riesgos de baja magnitud, similares a los registrados en nuestro trabajo durante el periodo de 2014 (sin RTC).

Destacamos que, aunque la distribución de la variable de exposición no sea relevante en un modelo de regresión lineal, la unidad de medida es fundamental para una posterior interpretación biomédica de los coeficientes de regresión estimados. El uso de una variable independiente que incorpore la discretización temporal de las concentraciones máscicas horarias es más próxima al modelo de exposición y riesgo por acumulación de partículas, desarrollado por Schwartz et al. ²⁴, en contraste a un promedio aritmético diario como la CPD. En este trabajo, con el uso de la variable de exposición HD50 conseguimos observar una diferencia de 0,07 unidades de RR entre ambos periodos. Esto es, el impacto del RTC habría evitado potencialmente 13 urgencias respiratorias el 2016, respecto al mismo periodo del 2014, a través de la disminución de casi un 50% en la magnitud del PIR%, considerando un incremento de +10 horas de exposición sobre la norma diaria de MP_{2,5}. Este incremento se basa en estudios que muestran que sobre 10 horas de exposición continuada a concentraciones sobre 50µg/m³ es posible observar efectos de corto plazo, tal como urgencias respiratorias en la población (RR > 1), principalmente niños en edad escolar ¹⁹. Hacemos notar que la mayoría de las urgencias respiratorias registradas en Coyhaique están relacionadas con la bronquitis y bronquiolitis aguda (CIE-10: J01 a J06) siendo las de mayor frecuencia (> 60%) en el grupo de edad entre 4 y 15 años.

En este estudio no fueron consideradas las infecciones respiratorias agudas de tipo viral, que es parte de otro trabajo en preparación. Por otra parte, las bruscas y frecuentes disminuciones del TR°C, observadas en Coyhaique, deben ser acompañadas y comunicadas a la población para la humidificación de los ambientes de interior, y de esta forma disminuir los riesgos respiratorios derivados de bruscas variaciones de temperatura y, principalmente, en la disminución de la humedad relativa del aire externo. La conjunción de aire frío extremadamente seco con altos niveles de MP fino genera daño en las mucosas respiratorias, aumentando la probabilidad de enfermedades respiratorias y/o agravamiento de preexistentes, principalmente en la población escolar ^{16,25}. Este hecho coloca en pauta otro tema no menos relevante, el referente a la contaminación intradomiciliaria y el efecto en grupos no directamente afectados por la contaminación externa, como lo son principalmente: embarazadas, enfermos crónicos y lactantes que pasan el mayor tiempo al interior de residencias con calefacción de leña. La topografía donde se emplaza Coyhaique, que en su fundación sirvió para evitar los fríos vientos del sur antártico, en la actualidad desfavorece la dispersión del MP, cuyos niveles de concentración se han ido incrementando por causa del aumento poblacional y la falta de alternativas de combustión más eficientes. Asimismo, los cambios en el clima están generando extensas ondas de frío extremadamente secas que afectan el territorio de Coyhaique y todo el cono sudamericano en cortos periodos de tiempo ^{26,27}. Esta situación configura un factor adicional que debe ser considerado por los agentes de salud para el mejor manejo de situaciones altamente críticas de contaminación atmosférica durante periodo invernal.

Estos resultados se deben profundizar, hemos estudiado en un diseño ecológico el impacto que ha tenido esta campaña de cambio de calefactores sobre las emisiones atmosféricas y cómo se refleja en la salud respiratoria de un grupo etario de la población en Coyhaique. Este plan de descontaminación atmosférica aún está en desarrollo, no sólo con el recambio de calefactores, sino que también junto a una serie de acciones de gestión ambiental, que deberían tener un marcado impacto en las emisiones de MP y otros contaminantes de la combustión de leña. El aislamiento térmico de la vivienda es un factor por considerar que debiera tener un gran impacto en las emisiones a la atmósfera. Sin embargo, se requiere urgentemente evaluar la calidad del aire en los espacios interiores, máxime en ambientes fríos como el de Coyhaique, donde las personas pasan gran cantidad de su tiempo en el interior de sus viviendas.

Colaboradores

F. G. Muñoz-Ibáñez y D. D. Cáceres-Lillo escribieron y aprobaron el artículo.

Informaciones adicionales

ORCID: Franz Guillermo Muñoz-Ibáñez (0000-0002-9546-3416); Dante Daniel Cáceres-Lillo (0000-0001-5404-7961).

Agradecimientos

A Marco Acuña Briones (recogida de datos epidemiológicos), Sebastián Pedrero Quinones (análisis y modelado de datos estadísticos), Ana Karina Maldonado (análisis de datos geográficos) y Felipe Medina (revisión estadística) por sus contribuciones. Al Geógrafo José Villarroel por sus importantes comentarios. A los profesionales de la Secretaría del Ministerio del Medio Ambiente y del Ministerio de Salud de la Región de Aysén. Fondo Nacional de Investigación en Salud, Gobierno de Chile (FONIS; nº 15/20207).

Referencias

1. Ulloa P, Contreras CG, Collados E. Medidas costo-efectivas para reducir la contaminación del aire generada por la combustión de leña en ciudades del sur de Chile 2010. https://www.sociedadpoliticaspublicas.cl/archivos/BLOQUE1/Medioambiente/Medidas_costo-efectivas_para_reducir_la_contaminacion_del_aire_generadapor_la_combustionde-lena-en-ciudades-del-sur-de-Chile.pdf (accedido el 17/Abr/2018).
2. Ministerio del Medio Ambiente. Estrategia de descontaminación atmosférica en Chile: 2014-2018. <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=102604&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION> (accedido el 23/Abr/2018).
3. Molina C, Toro AR, Morales SR, Manzano C, Leiva-Guzmán M. Particulate matter in urban areas of south-central Chile exceeds air quality standards. *Air Qual Atmos Health* 2017;10:653-67.
4. World Health Organization. Ambient air pollution database. http://www.who.int/airpollution/data/AAP_database_summary_results_2016_v02.pdf (accedido el 25/Mar/2018).
5. Diociaiuti M, Balduzzi M, De Berardis B, Cattani G, Stacchini G, Ziemacki G, et al. The two PM(2.5) (fine) and PM(2.5-10) (coarse) fractions: evidence of different biological activity. *Environ Res* 2001; 86:254-62.
6. Naeher LP, Brauer M, Lipsett M, Zelikoff JT, Simpson CD, Koenig JQ, et al. Woodsmoke health effects: a review. *Inhal Toxicol* 2007; 19:67-106.
7. Zelikoff JT, Chen LC, Cohen MD, Schlesinger RB. The toxicology of inhaled woodsmoke. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2002; 5:269-82.
8. Masse R, Boudene C. The health impact of woodsmoke. *Bull Acad Natl Med* 2013; 197:187-90.
9. Acuña M. Impacto de la contaminación del aire por MP10 en la morbimortalidad por enfermedad respiratoria, cardiovascular y algunos cánceres en la población de Coyhaique, 2009-2014 [Tesis de Maestría]. Santiago: Escuela de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de Chile; 2014.
10. Ministerio del Medio Ambiente. Decreto 33. Declara zona saturada por material particulado respirable (MP10), como concentración diaria y anual, a la ciudad de Coyhaique y su zona circundante. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente; 2012.
11. Ministerio del Medio Ambiente. Plan de descontaminación atmosférica para la ciudad de Coyhaique y su zona circundante. *Diario Oficial de la República de Chile* 2016; 28 mar.

12. Noonan CW, Ward TJ, Navidi W, Sheppard L. A rural community intervention targeting biomass combustion sources: effects on air quality and reporting of children's respiratory outcomes. *Occup Environ Med* 2012; 69:354-60.
13. Ward TJ, Palmer CP, Noonan CW. Fine particulate matter source apportionment following a large woodstove changeout program in Libby, Montana. *J Air Waste Manag Assoc* 2010; 60:688-93.
14. Johnston FH, Hanigan IC, Henderson SB, Morgan GG. Evaluation of interventions to reduce air pollution from biomass smoke on mortality in Launceston, Australia: retrospective analysis of daily mortality, 1994-2007. *BMJ* 2013; 346:e8446.
15. Peng RD, Dominici F, Louis TA. Model choice in time series studies of air pollution and mortality. *J R Stat Soc Ser A Stat Soc* 2006; 169:179-98.
16. Gao J, Sun Y, Lu Y, Li L. Impact of ambient humidity on child health: a systematic review. *PLoS One* 2014; 9:e112508.
17. Lee M, Ohde S, Urayama KY, Takahashi O, Fukui T. Weather and health symptoms. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 15:E1670.
18. Roberts S. An investigation of distributed lag models in the context of air pollution and mortality time series analysis. *J Air Waste Manag Assoc* 2005; 55:273-82.
19. Muñoz F, Carvalho MS. Efecto del tiempo de exposición a PM₁₀ en las urgencias por bronquitis aguda. *Cad Saúde Pública* 2009; 25:529-39.
20. Wood SN. Low-rank scale-invariant tensor product smooths for generalized additive mixed models. *Biometrics* 2006; 62:1025-36.
21. Wood SN. *Generalized additive models: an introduction with R*. 2nd Ed. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC; 2017.
22. Rojas H, Schulz P, Briceño S. Análisis general del impacto económico y social (AGIES) del anteproyecto de plan de descontaminación atmosférica por MP10 y MP2.5 para la zona saturada de Coyhaique. Santiago: División de Información y Economía Ambiental, Ministerio del Medio Ambiente; 2017.
23. Dirección de Investigación Científica y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Evaluación del impacto de la calidad de aire interior, confort ambiental y eficiencia energética dentro de las viviendas beneficiadas del programa de recambio en la Región de Aysén. Santiago: Dirección de Investigación Científica y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile; 2016.
24. Schwartz J, Dockery DW, Neas LM. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *J Air Waste Manag Assoc* 1996; 46:927-39.
25. Freitas MC, Pacheco AMG, Verburg TG, Wolterbeek HT. Effect of particulate matter, atmospheric gases, temperature, and humidity on respiratory and circulatory diseases' trends in Lisbon, Portugal. *Environ Monit Assess* 2010; 162:113-21.
26. Seltenrich N. Between extremes: health effects of heat and cold. *Environ Health Perspect* 2015; 123:A275-80.
27. Alves MPA, Silveira RB, Minuzzi RB, Franke AE. The influence of the Antarctic oscillation (AAO) on cold waves and occurrence of frosts in the State of Santa Catarina, Brazil. *Climate* 2017; 5:17.

Abstract

Coyhaique (Southern Chile) is one of the most polluted cities in the Americas due to the burning of firewood. In 2016, a mass substitution of residential heating technology was launched to decrease the air concentrations of particulate matter in the winter. Based on time series analyses, the article discusses the effect of this measure on PM_{2.5} levels and hospitalizations for acute respiratory conditions in individuals under 15 years of age.

Particulate Matter; Smoke; Air Pollution; Respiratory Tract Diseases

Resumo

Coyhaique, no sul de Chile, é uma das cidades mais poluídas devido a queima de lenha nas Américas. Em 2016 se deu início a uma massiva substituição da tecnologia de aquecimento do interior das viviendas para diminuir as concentrações atmosféricas de material particulado no inverno. Através de análises de séries temporais, o artigo discute o efeito desta medida nos níveis de MP_{2,5} e nas internações por urgências respiratórias em menores de 15 anos.

Material Particulado; Fumaça; Poluição do Ar; Doenças Respiratórias

Recibido el 19/Dic/2018
Versión final presentada el 08/Sep/2019
Aprobado el 02/Dic/2019