

MODELANDO LA HUELLA DE INCENDIOS EN EL AIRE: ANÁLISIS ARIMAX EN VALPARAÍSO (2009-2024)

ID-1480

**Bravo, Ismael^{1,2}, Yohannessen, Karla^{2,3},
Vásquez, Francisca^{2,3,6}, Blanco, Estela^{2,4,5} Aguayo, Valentina⁴**

¹Facultad de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Chile

²Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2)

³Escuela de Salud Pública, Universidad de Chile

⁴Escuela de Salud Pública, Pontificia Universidad Católica de Chile


⁵College, Pontificia Universidad Católica de Chile

⁶Centro de Investigación en Sociedad y Salud (CISS), Universidad Mayor

Introducción

- En Chile, la recurrencia de incendios forestales representa una amenaza creciente para la salud pública.
- Especialmente en regiones como Valparaíso, donde las condiciones meteorológicas y geográficas favorecen estos eventos.
- Se espera que su frecuencia aumente debido al cambio climático, asociado a sequías y olas de calor.
- El $PM_{2.5}$ emitido por incendios contiene compuestos tóxicos con alto potencial de daño respiratorio y cardiovascular.
- Sin embargo, aislar la fracción de $PM_{2.5}$ atribuible a incendios sigue siendo un desafío metodológico.
- Este estudio propone un enfoque de identificación de estos eventos mediante modelos ARIMAX, incorporando variables meteorológicas como regresores.

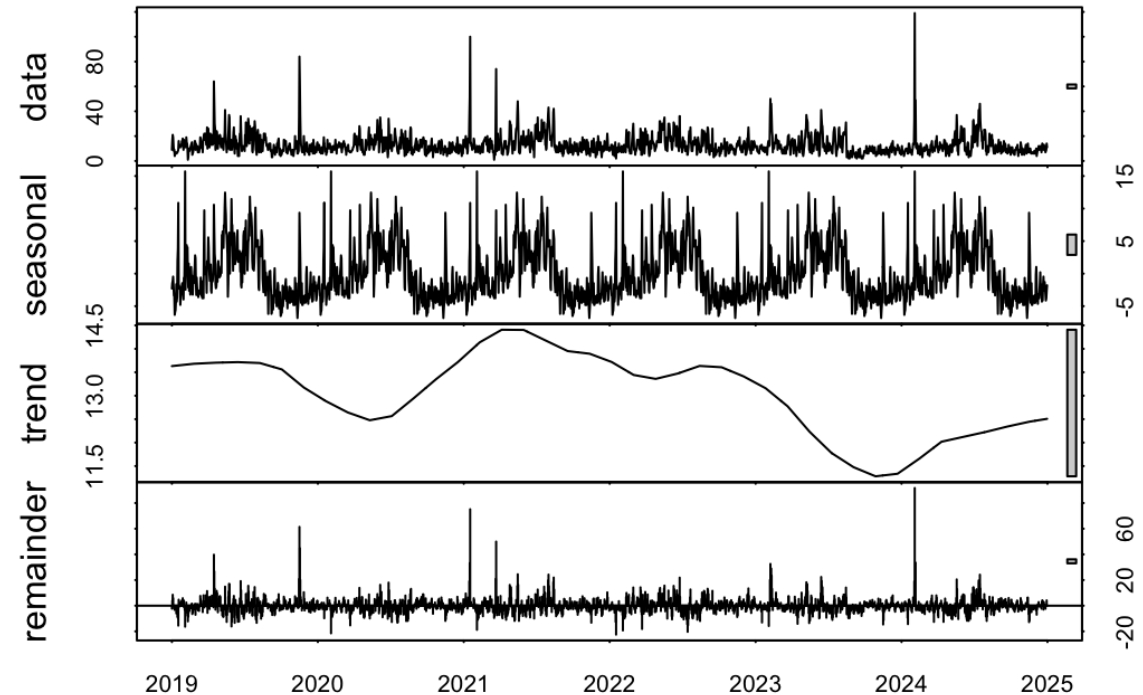




Material y métodos

- Se utilizaron datos diarios de $PM_{2.5}$ y variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, precipitaciones, presión atmosférica y velocidad del viento) provenientes de la estación de monitoreo de Viña del Mar entre 2019 y 2024.
- Se ajustaron dos modelos ARIMAX ambos con transformación logarítmica, con y sin rezago en las covariables.
- Las fechas en que las concentraciones reales superaron el límite superior del intervalo de confianza del 95% del modelo se consideraron anomalías atribuibles a incendios.
- Estas fechas fueron contrastadas con registros oficiales de incendios de magnitud de CONAF.
- Se estimó la fracción total de $PM_{2.5}$ atribuible a incendios durante el periodo analizado.

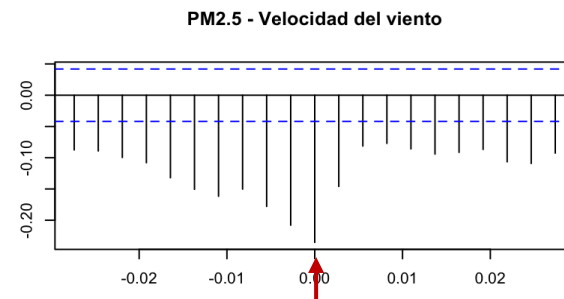
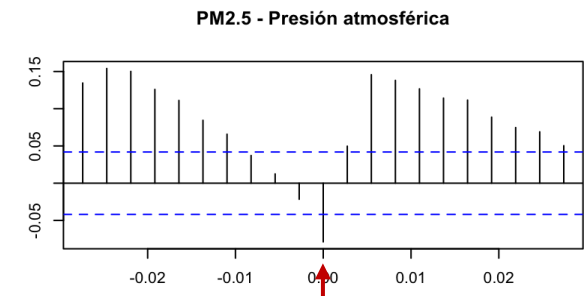
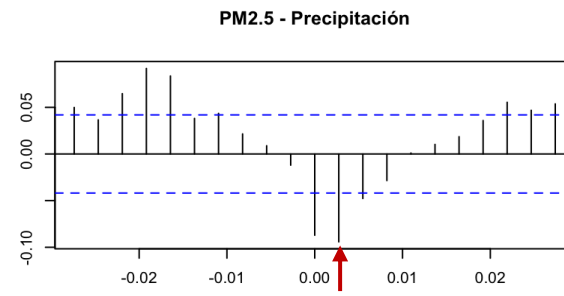
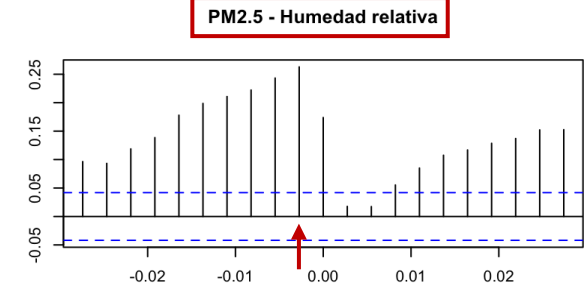
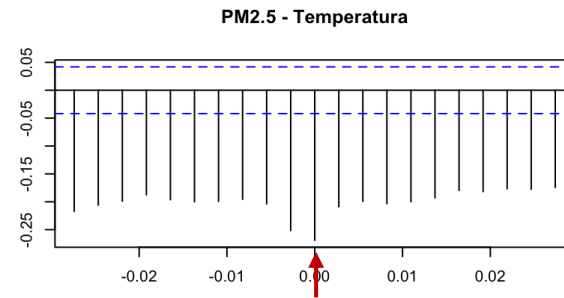
Serie temporal de $\text{PM}_{2.5}$ en estación de Viña del Mar



Resultados

- La descomposición muestra un **patrón estacional marcado** y **variaciones en la tendencia**, lo que indica que la serie no es estacionaria.
- Los modelos **ARMA** suponen residuos con comportamiento de **ruido blanco**, resulta necesario incorporar **covariables asociadas a la concentración de $\text{PM}_{2.5}$** para explicar parte de esta variabilidad.
- Se observan **picos no estacionales** que se reflejan en los errores, lo que sugiere la presencia de **episodios aislados excepcionales de contaminación**, que supondremos se relacionan con **eventos de incendios**.

Autocorrelación temporal de $PM_{2.5}$ con covariables



- Temperatura, velocidad del viento y presión atmosférica presentan correlaciones negativas con $PM_{2.5}$ y su *lag* más significativo es el 0 (presente).
- Precipitación también presenta correlación negativa con el *lag* 1 siendo el más significativo (futuro).
- La humedad presenta una correlación positiva con su mayor significancia en el *lag* +1 (pasado), por lo que se aplica rezago.

Resultados

Comparación de modelos ARIMAX

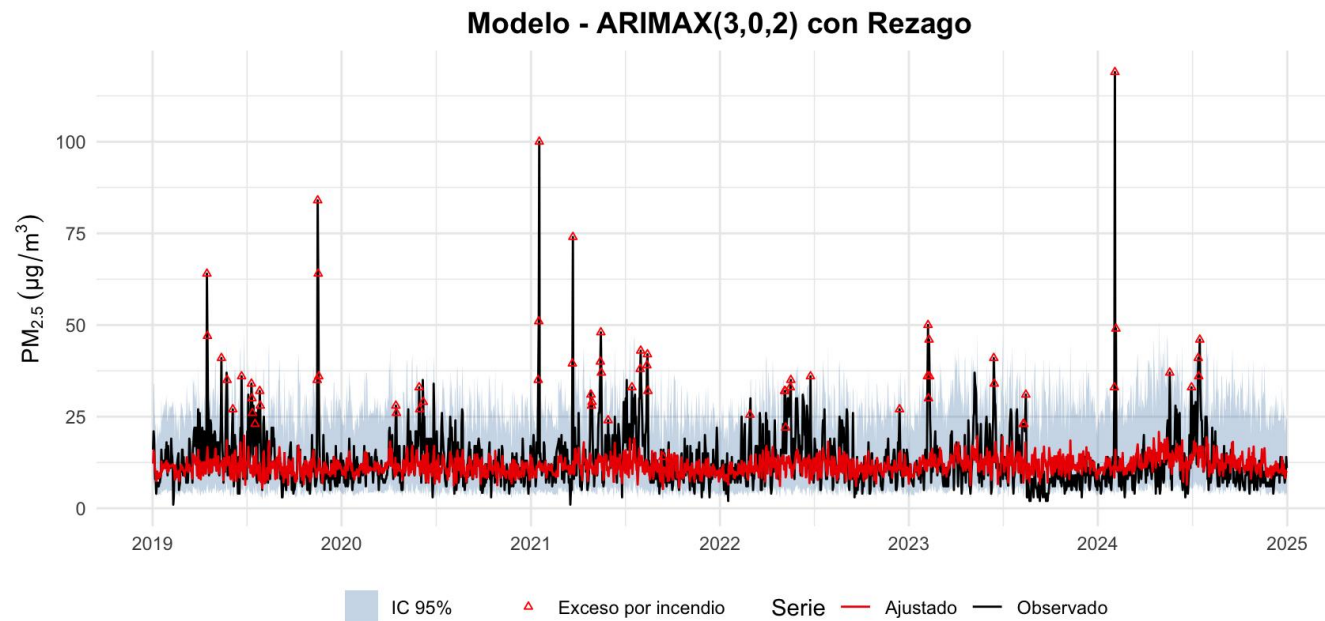
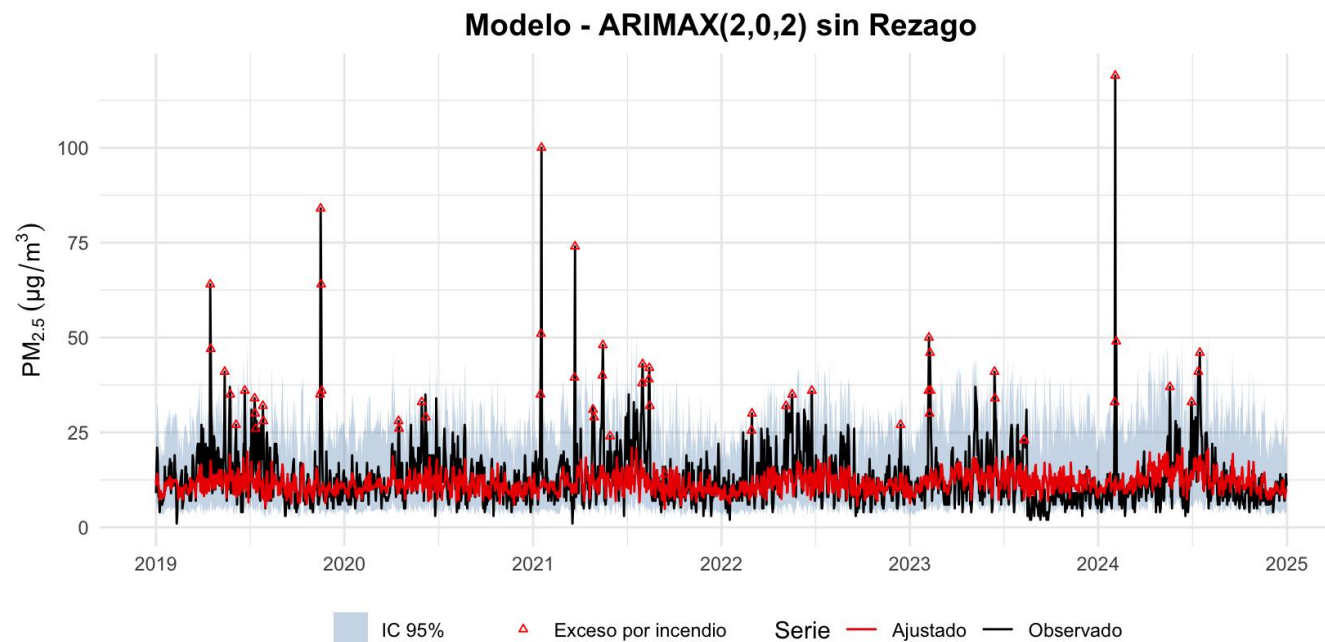
	ARIMAX (sin rezago)	ARIMAX (con rezago)
Orden ARIMA	(2,0,2)	(3,0,2)
Coefficientes significativos ($p < 0.05$)	Todos excepto <code>ma2</code> ($p=0.075$) y <code>hum_rel</code> ($p=0.062$)	Todos excepto <code>ar2</code> ($p=0.083$) y <code>ma1</code> ($p=0.183$)
Normalidad (K-S test)	$p = 0.00051 \rightarrow$ no normal	$p = 0.00026 \rightarrow$ no normal
Homocedasticidad (B-P test)	$p = 0.552 \rightarrow$ homocedásticos	$p = 0.651 \rightarrow$ homocedásticos
Autocorrelación (L-B test)	Residuos sin autocorrelación ($ACF_1 = 0.075$)	Residuos sin autocorrelación ($ACF_1 = 0.065$)
AIC	1518.76	1462.92
BIC	1581.37	1531.22
σ^2 (varianza residual)	0.1165	0.1135
MAPE (%)	27.36	26.92
R^2 ajustado	0.9981	0.9982

- Ambos modelos presentan **ajustes similares y residuos adecuados** (sin autocorrelación ni heterocedasticidad).
- El **modelo con rezago mejora todas las métricas** de calidad de ajuste, pese a incluir un parámetro adicional.
- La incorporación del rezago hace **significativo el efecto de la humedad relativa**, reforzando su influencia en la serie.

Resultados



Resultados



Estimación de fracción de PM2.5 atribuible a incendios

Modelo	Días con FA	FA total	FA relativa	FA promedio	FA máx.	FA mín.
ARIMAX (sin rezago)	57	638.32	2.23%	0.2058	0.7851	0.0078
ARIMAX (con rezago)	66	676.96	2.37%	0.1979	0.7550	0.0117

- Los modelos **coinciden en 56 fechas**. El ARIMAX rezagado **identifica 10 fechas diferentes** en contraste con una **única fecha** en el caso del ARIMAX original.

		ARIMAX sin rezago		ARIMAX con rezago		Posible evento
Fecha	PM _{2.5} total	Fracción atribuible	Exceso atribuible	Fracción atribuible	Exceso atribuible	
2024-02-03	119	78.5%	93.43	75.5%	89.85	Mega incendio de Valparaíso (día 2)
2019-11-16	84	74.1%	62.22	68.9%	57.87	Incendio de Casablanca (día 2)
2021-01-17	100	71.1%	71.15	68.5%	68.50	Incendio Valparaíso-Quilpué (día 3)
2019-11-17	64	64.3%	41.13	60.3%	38.56	Incendio de Casablanca (día 3)

- Los modelos coinciden en las fechas con mayores fracciones atribuibles, aunque presentan **diferencias menores en sus magnitudes**.
- Estas fechas son **consistentes con la ocurrencia de tres incendios cercanos a la estación de monitoreo**, registrados oficialmente por **CONAF** como **incendios de magnitud**.

Resultados

Conclusión

- Se desarrolló un **modelo simple y replicable** para estaciones de monitoreo con variables meteorológicas que permite obtener **estimaciones diarias no predictivas** de la fracción atribuible de $PM_{2.5}$ a incendios forestales.
- La **inclusión del rezago** mejora el ajuste del modelo y justifica su incorporación.
- El **principal supuesto** es que los incrementos anómalos de $PM_{2.5}$ se deben a incendios. Sin embargo, también pueden reflejar **episodios de alta contaminación invernal** asociados a combustión de biomasa.
- El enfoque puede **perfeccionarse incorporando información adicional** de las estaciones de monitoreo, como la exclusión de contaminantes no asociados a incendios de la concentración total de $PM_{2.5}$.
- El método **identifica correctamente eventos críticos** para la salud y representa un aporte potencial a la investigación en epidemiología ambiental, al permitir **cuantificar la exposición de la población a los incendios**.
- La **evaluación empírica de la sensibilidad** del modelo sigue siendo un desafío, dada la complejidad de registrar factores como la extensión, duración y condiciones físicas de los incendios.



VII Congreso Chileno de Salud Pública X Congreso Chileno de Epidemiología



ORGANIZAN



AUSPICIAN

