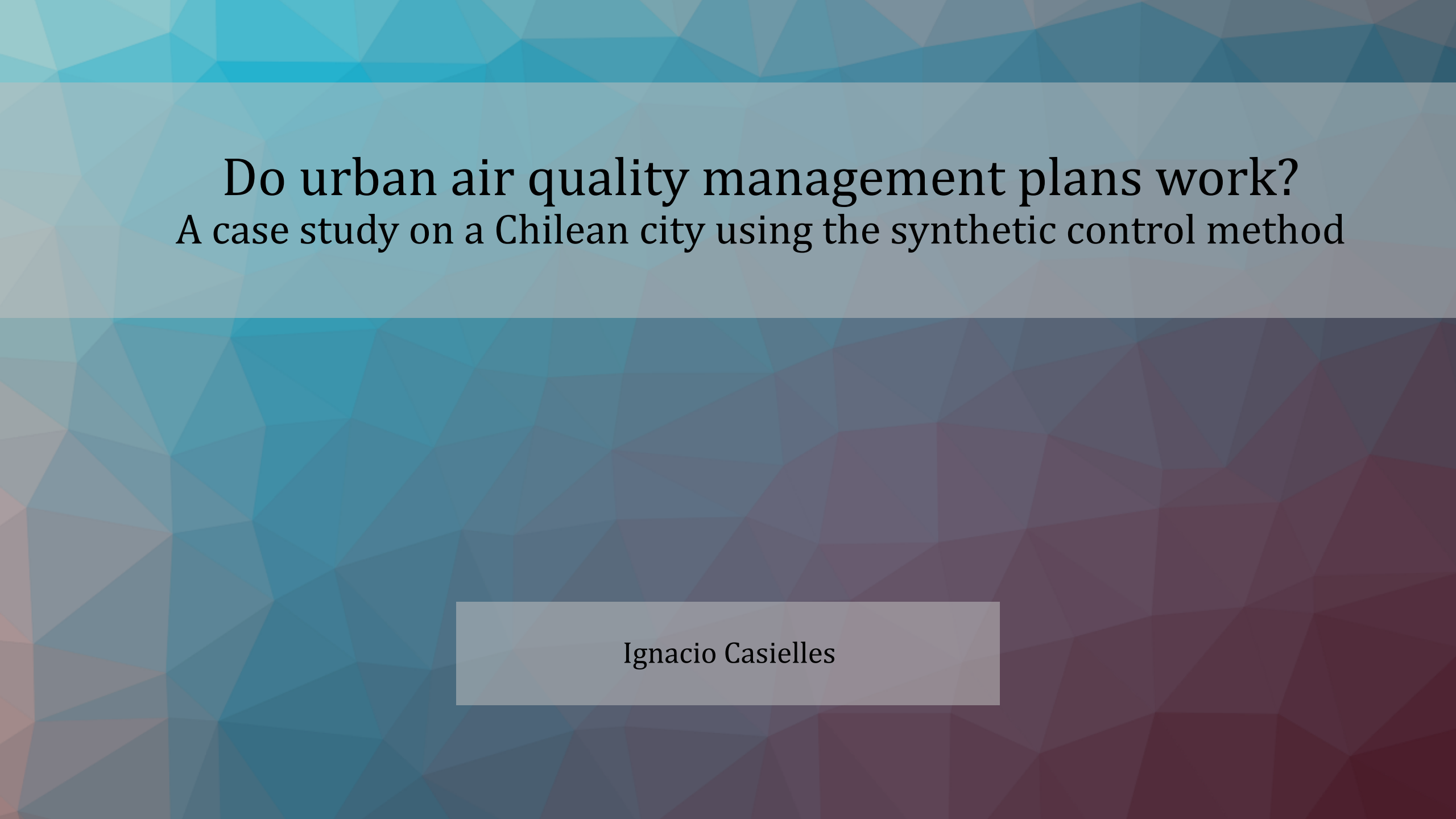




Do urban air quality management plans work?

A case study on a Chilean city using the synthetic control method

Ignacio Casielles



ANTECEDENTES

Planes urbanos de gestión de calidad del aire

- Calidad del aire urbano es una preocupación alrededor del mundo.
- Efectos en la salud de la contaminación atmosférica.
- Efectos socioeconómicos de la contaminación atmosférica.
- *Urban air quality management plans* (UAQMP):

Metas	Monitoreo	Inventario de emisiones
Modelo de calidad del aire	Medición de exposición	Participación ciudadana

(Gulia et al., 2015)

- Importancia de capacidades de gestión (Franco et al., 2019).
- Diseño y medidas locales.

Evidencia UAQMP

- Restricciones vehiculares muestran resultados mixtos (Cutter & Neidell, 2009; Han et al., 2020; Viard & Fu, 2015; Zhong et al., 2017; Carrillo et al., 2016; Gallego et al., 2013; Davis, 2008; 2017; Bonilla; 2019).
- Programas enfocados en calefacción doméstica muestran resultados positivos (Gould et al., 2018; Webber et al., 2015; Ruiz-Tagle & Schueftan, 2019).
- En Chile, PDA para PM_{2.5} han generado reducción en PM₁₀ (Mardones & Cornejo, 2020b).
- Programa de episodios críticos en Santiago ha conseguido reducción de hasta 20% en contaminación atmosférica (Mullins & Bharadwaj, 2014).

PDA Temuco – Padre Las Casas

- Zona saturada por PM₁₀ (2005) y PM_{2.5} (2013).
- Implementación de PDA para PM₁₀ (2010) y PM_{2.5} (2015).

Uso y mejoramiento de la calidad de la leña	Uso y mejoramiento de artefactos	Mejoramiento de la eficiencia térmica de las viviendas
Control de emisiones de fuentes fijas	Control de emisiones asociadas a quemas agrícolas, forestales y domiciliarias	Control de emisiones asociadas a fuentes móviles
Gestión de episodios críticos de contaminación	Educación y difusión ambiental	Compensación de emisiones

- Contexto de pobreza energética, alta penetración de uso de leña y sensibilidad frente a precios (Reyes et al., 2019; Boso et al., 2018; Vásquez Lavin et al., 2020).

Evaluaciones previas

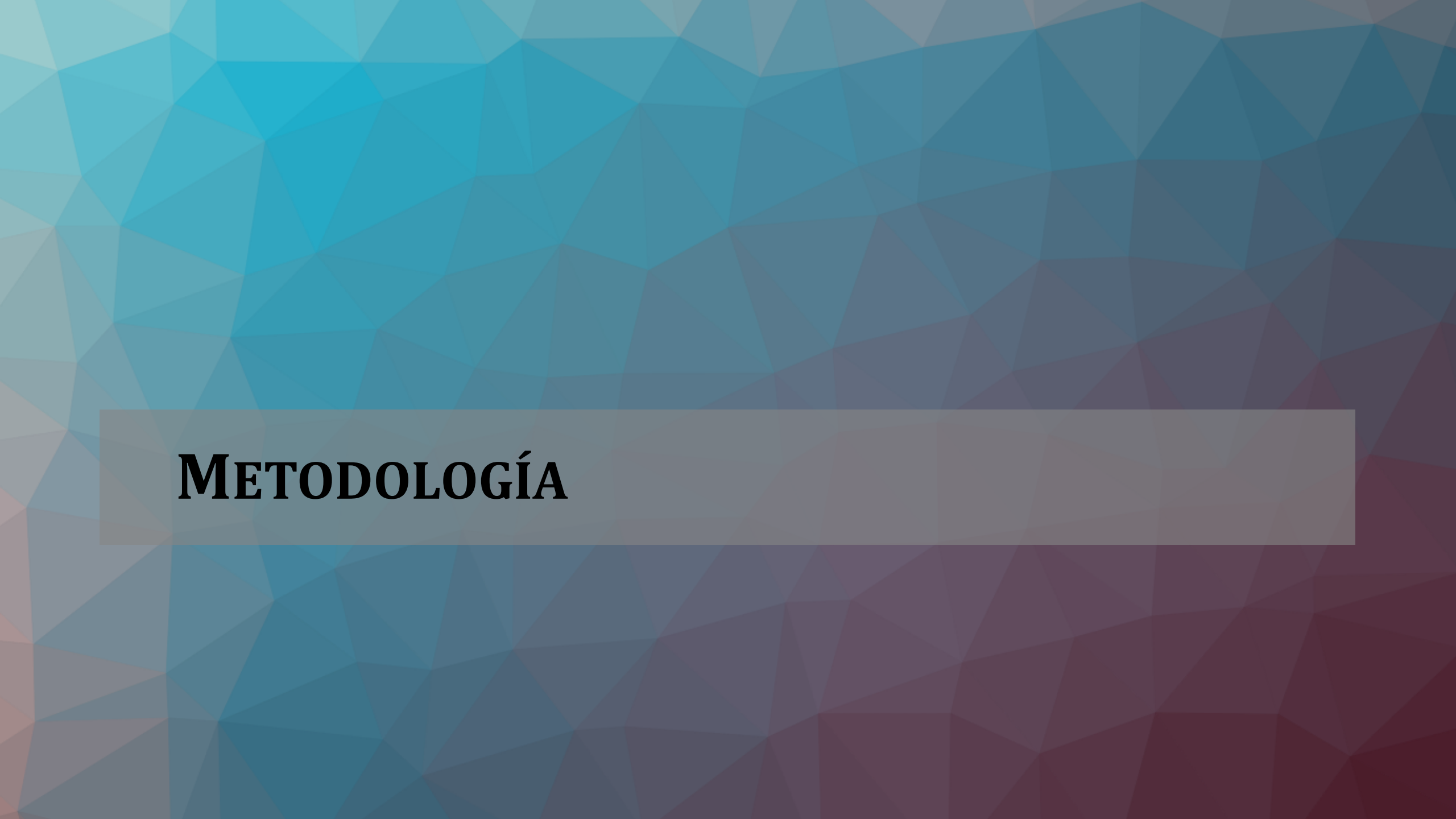
- Evaluación socioeconómica ex-ante cuantifica el beneficio, si se consiguiera el objetivo de reducir 67% de concentración de PM_{2.5} (MMA, 2015).

Beneficios		Costos		VAN
Salud	Ahorro	Privados	Públicos	
US\$1'055MM	US\$206MM	US\$138MM	US\$69MM	US\$1'054MM

- Evaluación ex-post de PDA Temuco solo considera PM₁₀, usando método de diferencias en diferencias [-2.53µg/m³] (Mardones, 2017).
- Evaluación de programa de manejo de episodios críticos muestra reducción de concentración horaria de PM₁₀ y PM_{2.5} (Mardones & Cornejo, 2020a).

Pregunta y objetivos

- ¿Cuál es el impacto del PDA de Temuco – Padre Las Casas sobre la calidad del aire y la salud de la población?
 - Estimar un contrafactual válido de Temuco.
 - Cuantificar el efecto del PDA en la calidad del aire y la salud de las personas.



METODOLOGÍA

Método de control sintético

- Metodología usada cuando es difícil establecer comparaciones válidas (unidades macro, pocas opciones de control).
- $\min_W \{X_1 - X_0 W\}$
- $ATT = Y_{1T_1} - Y_{0T_1} W^*$
- *Root mean squared prediction error* (RMSPE) como medida de ajuste:

$$\sqrt{\frac{\sum_{t=1, T_0+1}^{T_0, T_1} (Y_{1t} - Y_{0t} W)^2}{T_0, T_1}}$$

(Abadie & Gardeazabal, 2003; Abadie et al., 2010)

Aplicaciones previas

- Desarrollo económico (Abadie & Gardeazabal, 2003; Abadie et al., 2011; Mideksa, 2013; Severnini, 2014; Abadie et al., 2015; Grier & Maynard, 2016; Reimer et al., 2017; Rieger et al., 2017).
- Instituciones políticas y democracia (Liou & Musgrave, 2014; Xu, 2017).
- Salud (Abadie et al., 2010; Bruhn et al., 2018; Rieger et al., 2017; Barlow, 2018; Bennett, 2020).
- Energía (Kallbekken et al., 2013; Jimenez & Mercado, 2014; Kirkpatrick & Benneer; 2014).
- Estudios ambientales:
 - Impacto del Protocolo de Kyoto (Almer & Winkler, 2012).
 - Impacto de políticas forestales (Sills et al., 2015; Rana & Sills, 2018; Rana & Miller, 2019).
 - Impacto de programa de pago por residuos (Bueno & Valente, 2018).
 - Impacto de programa de recambio de autos (Klößner & Pfeifer, 2015).

Supuestos de identificación

- Asignación es aleatoria, condicional en unidades de control, covariables incluidas y trayectoria antes del tratamiento.
- *Stable Unit Treatment Value Assumption* (SUTVA).
- La intervención no tuvo efecto antes de comenzar.

(Bennett, 2020)

Especificaciones

- Y = Concentración mensual de PM2.5
- X = {Temperatura; velocidad del viento; precipitaciones; parque automotriz; áreas verdes; sectores económicos; densidad poblacional; proporción urbana; penetración de uso de leña}

- Y = Urgencias mensuales por causas respiratorias
- X = {Temperatura; precipitaciones; parque automotriz; población; densidad poblacional; áreas verdes; sectores económicos; ingresos medios; proporción urbana; población vulnerable; penetración de uso de leña}

Pruebas de robustez

- Permutación local (placebos) con ranking de post/pre RMSPE ratios para simular inferencia estadística (Abadie & Gardeazabal, 2003; Abadie et al., 2010; Bueno & Valente, 2018).
- Permutación temporal (Jimenez & Mercado, 2014; Grier & Maynard, 2016).
- Cambios en la especificación (Liou & Musgrave, 2013; Mideksa, 2013).
- Cambios en el *donor pool* (Almer & Winkler, 2012).
- Análisis diario.

Fuentes de datos

- SINCA
 - PM2.5; PM10; temperatura; velocidad del viento.
- DEIS
 - Atenciones de urgencia por causas respiratorias.
- DGA
 - Precipitaciones.
- INE
 - Población; densidad poblacional; poblaciones vulnerables; superficie de áreas verdes; parque automotriz.
- CASEN
 - Sectores económicos; penetración de uso de leña; proporción urbana; ingresos medios.



RESULTADOS

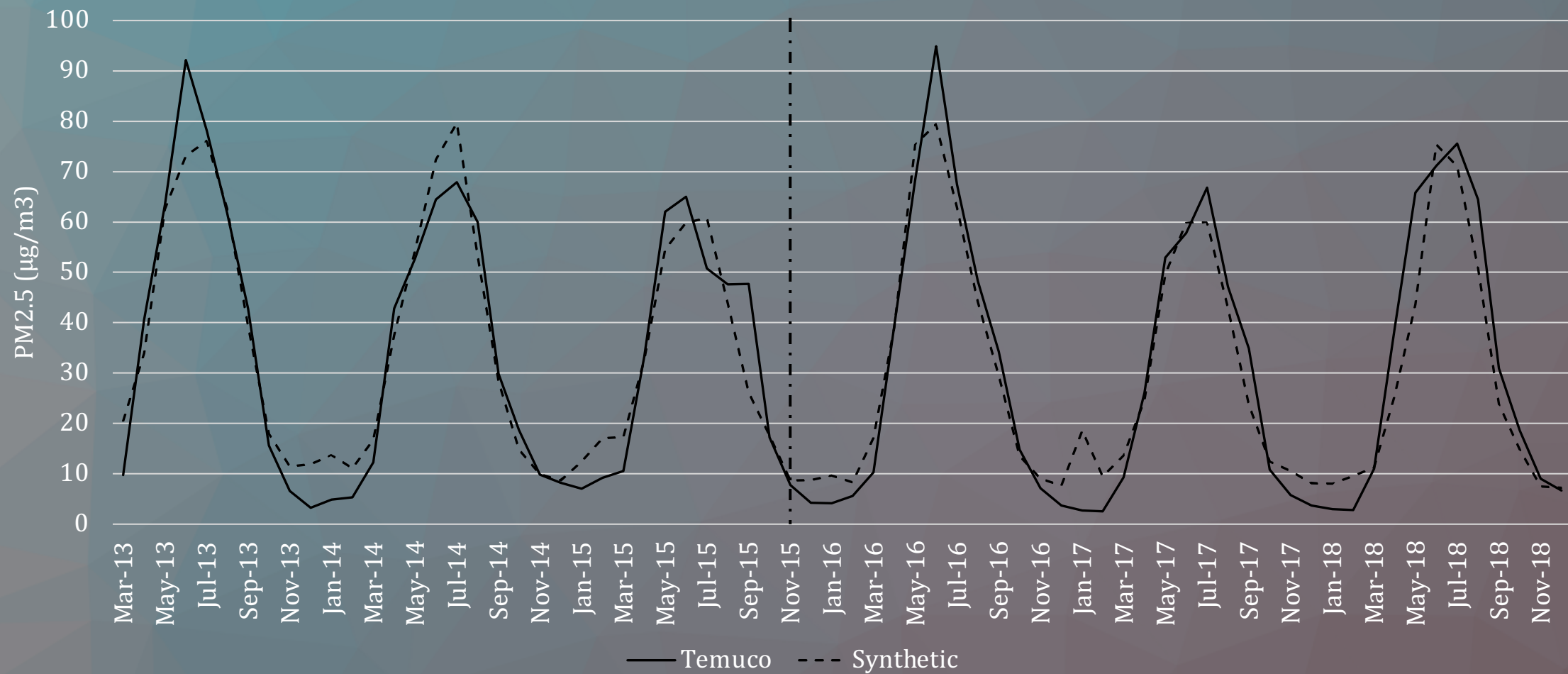
PM_{2.5}: Ponderaciones

Ciudad	Ponderación
Rancagua	0.626
Curicó	0
Talca	0
Los Ángeles	0.211
Coyhaique	0.163

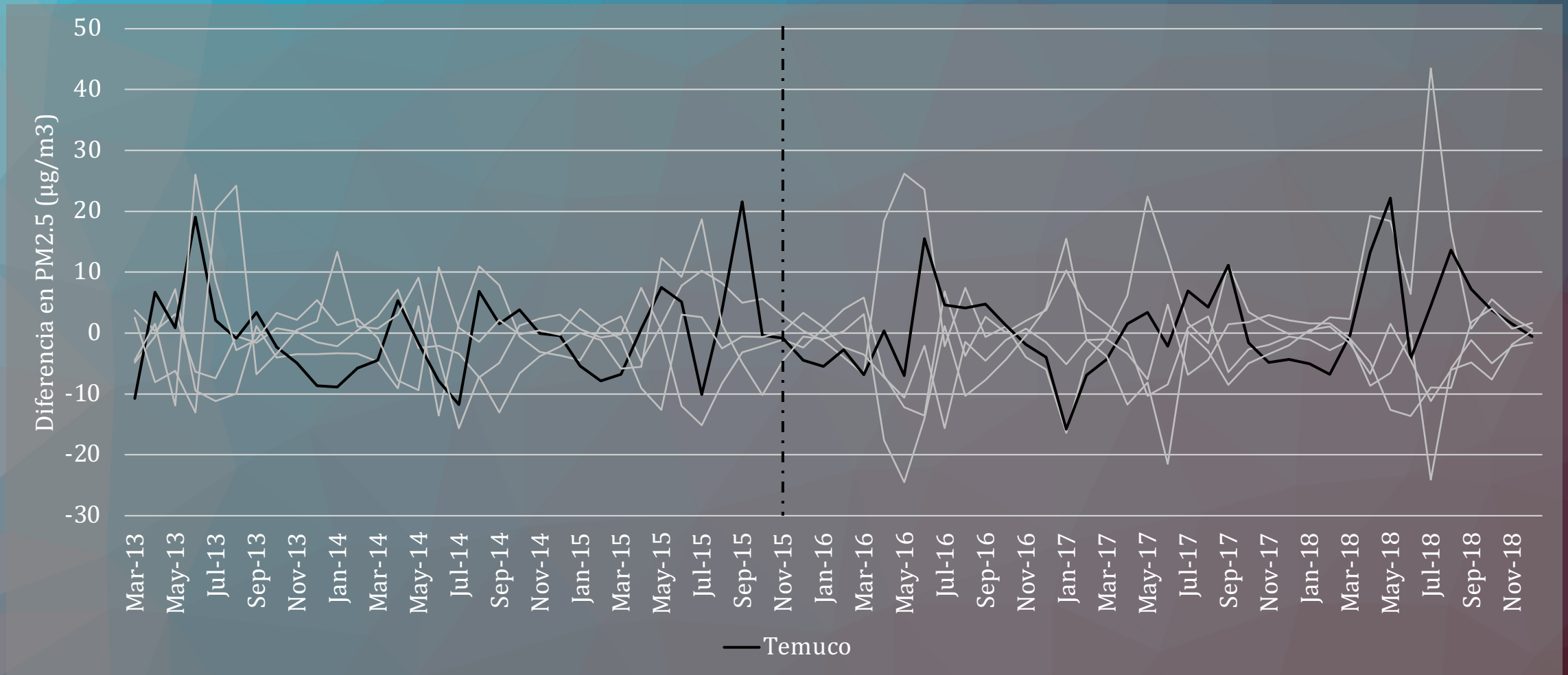
PM_{2.5}: Tabla de balance

Variables	Temuco	Control sintético
PM _{2.5} (µg/m ³)	35.68	36.01
Temperatura (°C)	11.12	14.91
Velocidad del viento (m/s)	1.59	2.07
Precipitaciones (mm)	88.82	47.16
Población	364'372	239'611
Densidad poblacional	65.14	44.5
Parque automotriz	84'834	69'203
Áreas verdes (m ²)	2'744'338	1'906'934
Proporción de población urbana	85.02%	81.09%
Proporción de trabajadores en agricultura	5.78%	9.45%
Proporción de trabajadores en manufactura	8.78%	7.88%
Proporción de trabajadores en construcción	10.65%	8.84%
Penetración de uso de leña	77.46%	47.15%

PM_{2.5}: Trayectorias



PM_{2.5}: Permutación local



PM_{2.5}: RMPSE ratios



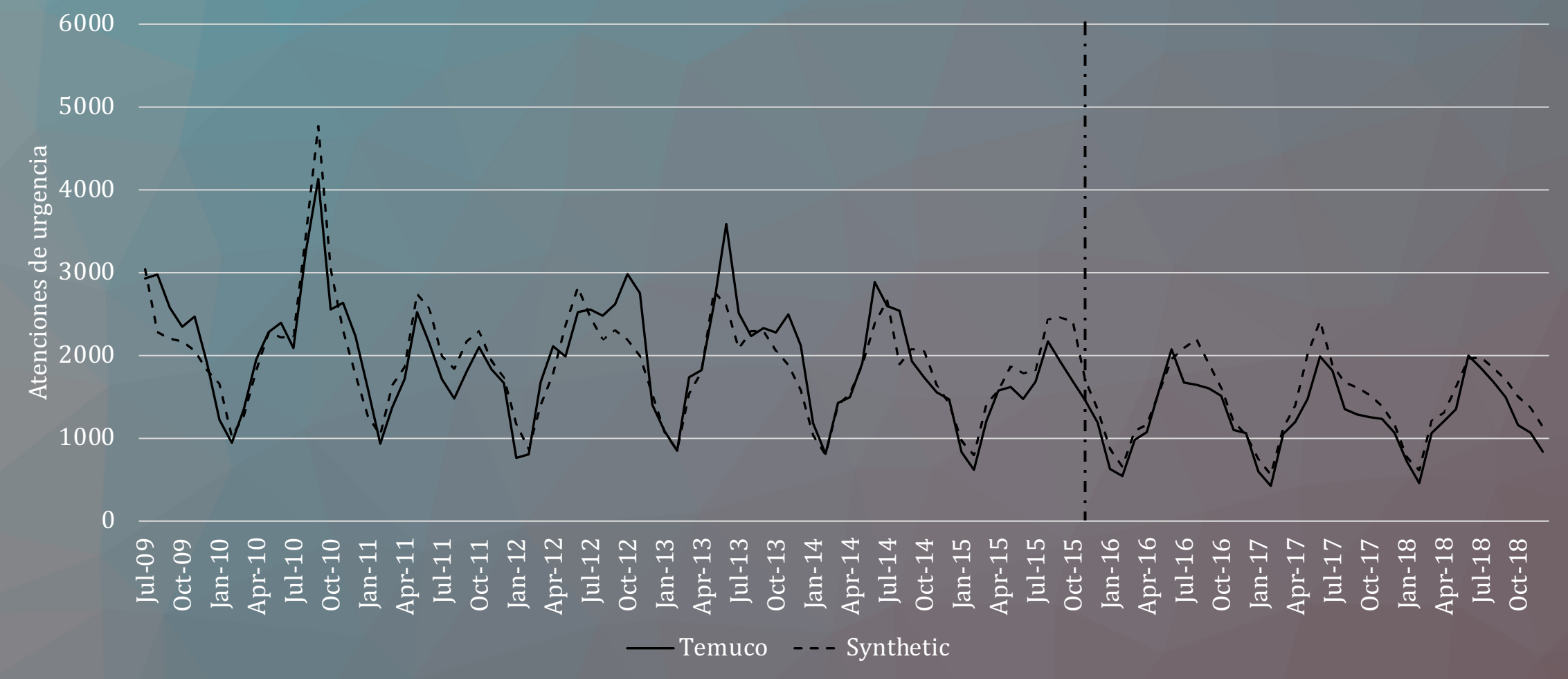
Urgencias: Ponderaciones

Ciudad	Ponderación
Rancagua	0
Rengo	0.251
San Fernando	0.16
Curicó	0
Talca	0.119
Linares	0.056
Los Ángeles	0.353
Concepción	0.018
Puerto Montt	0.148
Coyhaique	0.043
Punta Arenas	0.103

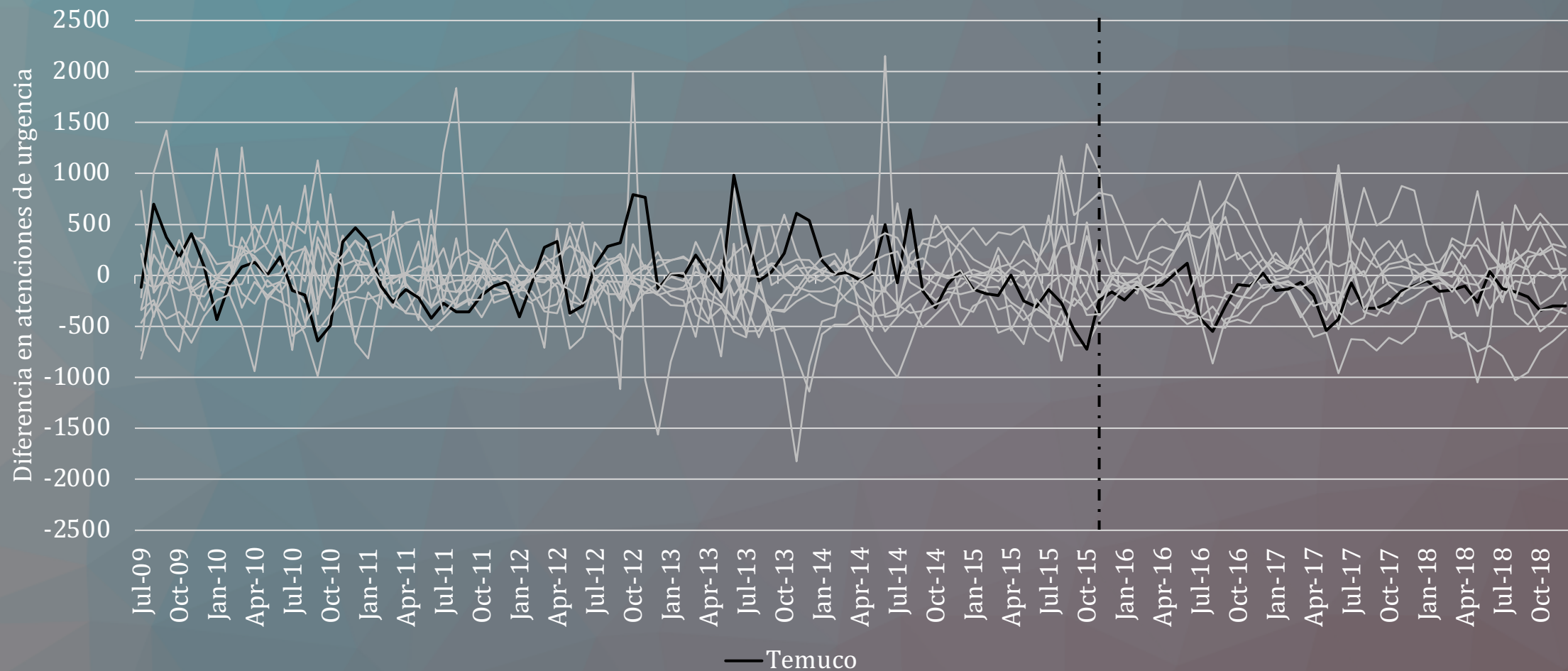
Urgencias: Tabla de balance

Variables	Actual Temuco	Synthetic Temuco
Atenciones de urgencia (causas respiratorias, hospitales)	1970.4	1956.68
Temperatura (°C)	11.27	12.2
Precipitaciones (mm)	83.31	76.8
Población	357'710	194'667
Densidad de población	63.87	55.26
Parque automotriz	74'876	44'998
Áreas verdes (m2)	2'744'338	1'127'027
Proporción de población urbana	85.02%	81.09%
Proporción de población >=65	9.19%	9.29%
Proporción de población <=4	6.93%	7.29%
Proporción de trabajadores en agricultura	7.02%	10.75%
Proporción de trabajadores en manufactura	9.11%	9.83%
Proporción de trabajadores en construcción	10.3%	10.32%
Ingreso medio del hogar (CLP\$)	864'437	842'305
Penetración de uso de leña	77.46%	64.24%

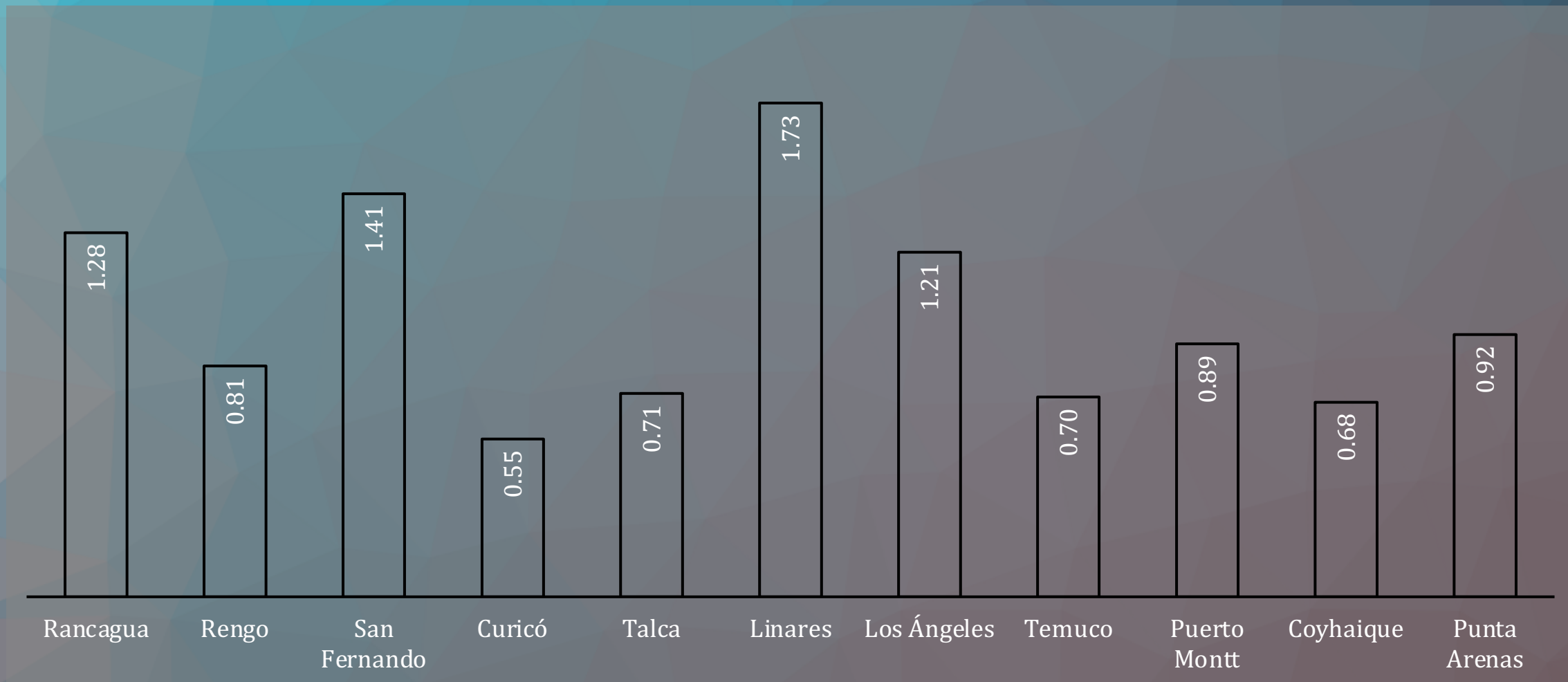
Urgencias: Trayectorias



Urgencias: Permutación local



Urgencias: RMSPE ratios



DISCUSIÓN

Implicancias

- Problemas de diseño del PDA.
- Bajo cumplimiento de las medidas.
 - Pobreza energética (Reyes et al., 2019) y alta sensibilidad al precio (Vásquez Lavin et al., 2020).
 - Aspectos culturales (Boso et al., 2018) y falta de participación ciudadana (Naiker et al., 2012).
- Gestión de episodios críticos pareciera ser efectiva (Mardones & Cornejo, 2020).
 - Reducción de confort térmico, especialmente en hogares más vulnerables.
 - Sustitución intertemporal tiene un costo creciente en el tiempo (Graff Zivin & Neidell, 2009).

Recomendaciones

- Priorizar programas de eficiencia térmica, que podrían tener mayores impactos en la calidad del aire y el acceso a energía (Schueftan & González, 2015; Schueftan et al., 2016).
- Incorporar iniciativas basadas en la entrega de información sobre el uso de artefactos (Ruiz-Tagle & Schueftan, 2019) y las consecuencias de la contaminación (Boso et al., 2018).
- Mejorar la recolección de información ambiental, para contar con datos balanceados.
- Expandir el uso de estrategias de identificación robustas que permitan ir más allá de análisis *naïve*.

Referencias (1/4)

- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2010). Synthetic control methods for comparative case studies: Estimating the effect of California's tobacco control program. *Journal of the American Statistical Association*, 105(490), 493-505.
- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2011). Synth: An R package for synthetic control methods in comparative case studies. *Journal of Statistical Software*, 42(13), 1-17.
- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2015). Comparative politics and the synthetic control method. *American Journal of Political Science*, 59(2), 495-510.
- Abadie, A., & Gardeazabal. (2003). The economic costs of conflict: A case study of the Basque Country. *American Economic Review*, 93(1), 113-132.
- Almer, C., & Winkler, R. (2012). *The effect of Kyoto emission targets on domestic CO2 emissions: A synthetic control approach* (Department of Economics of the University of Bern Discussion Paper No. 12-02). <https://EconPapers.repec.org/RePEc:ube:dpvwib:dp1202>.
- Barlow, P. (2018). Does trade liberalization reduce child mortality in low- and middle-income countries? A synthetic control analysis of 36 policy experiments, 1963-2005. *Social Science & Medicine*, 205, 107-115.
- Bennett, M. (2020). *All things equal? Heterogeneity in policy effectiveness against covid-19 spread in Chile [Working Paper]*. https://www.magdalenabennett.com/files/sub/mbennett_covid.pdf.
- Bonilla, J. (2019). The more stringent, the better? Rationing car use in Bogotá with moderate and drastic restrictions. *The World Bank Economic Review*, 33(2), 516-534.
- Boso, À., Hofflinger, A., Oltra, C., Alvarez, B., & Garrido, J. (2018). Public support for wood smoke mitigation policies in south-central Chile. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 11, 1109-1119.
- Bruhn, C., Hetterich, S., Schuck-Paim, C., Kürüm, E., Taylor, R., Lustig, R., Shapiro, E., Warren, J., Simonsen, L., & Weinberger, D. (2017). Estimating the population-level impact of vaccines using synthetic controls. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1524-1529.
- Carrillo, P., Malik, A., & Yoo, Y. (2016). Driving restrictions that work? Quito's "Pico y Placa" program. *The Canadian Journal of Economics*, 49(4), 1536-1568.
- Cutter, W. B., & Neidell, M. (2009). Voluntary information programs and environmental regulation: Evidence from 'Spare the Air'. *Journal of Environmental Economics and Management*, 58, 253-265.

Referencias (2/4)

- Davis, L. (2008). The effect of driving restrictions on air quality in Mexico City. *Journal of Political Economy*, 116(1), 38-81.
- Davis, L. (2017). Saturday driving restrictions fail to improve air quality in Mexico City. *Scientific Reports*, 7, 41652.
- Franco, J., Gidhagen, L., Morales, R., & Behrentz, E. (2019). Towards a better understanding of urban air quality management capabilities in Latin America. *Environmental Science and Policy*, 102, 43-53.
- Gallego, F., Montero, J. P., & Salas, C. (2013). The effect of transport policies on car use: Evidence from Latin American cities. *Journal of Public Economics*, 107, 47-62.
- Gould, C., Chillrud, S., Phillips, D., Perzanowski, M., & Hernández, D. (2018). Soot and the city: Evaluating the impacts of clean heat policies on indoor/outdoor air quality in New York City apartments. *PLoS ONE*, 13(6), 0199783.
- Graff Zivin, J., & Neidell, M. (2009). Days of haze: Environmental information disclosure and intertemporal avoidance behavior. *Journal of Environmental Economics and Management*, 58, 119-128.
- Grier, K., & Maynard, N. (2016). The economic consequences of Hugo Chavez: A synthetic control analysis. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 125, 1-21.
- Gulia, S., Nagendra, S., Khare, M., & Khanna, I. (2015). Urban air quality management – a review. *Atmospheric Pollution Research*, 6, 286-304.
- Han, Q., Liu, Y., & Lu, Z. (2020). Temporary driving restrictions, air pollution, and contemporaneous health: Evidence from China. *Regional Science and Urban Economics*, 84, 103572.
- Jimenez, R., & Mercado, J. (2014). Energy intensity: A decomposition and counterfactual exercise for Latin American countries. *Energy Economics*, 42, 161-171.
- Kallbekken, S., Sælen, H., & Hermansen, E. (2013). Bridging the energy efficiency gap: A field experiment on lifetime energy costs and household appliances. *Journal of Consumer Policy*, 36, 1-16.
- Kirkpatrick, A. J., & Benneer, L. (2014). Promoting clean energy investment: An empirical analysis of property assessed clean energy. *Journal of Environmental Economics and Management*, 68, 357-375.

Referencias (3/4)

Klößner, S., & Pfeifer, G. (2015). *Synthesizing cash for clunkers: Stabilizing the car market, hurting the environment* (Beiträge zur Jahrestagung des Vereins für Socialpolitik 2015: Ökonomische Entwicklung - Theorie und Politik - Session: Automobiles and the Environment F13-V1). <http://hdl.handle.net/10419/113207>.

Liou, Y., & Musgrave, P. (2014). Refining the oil curse: Country-level evidence from exogenous variations in resource income. *Comparative Political Studies*, 47(11), 1584-1610.

Mardones, C. (2017). *Elaboración de evaluación ex-post de Plan de Descontaminación Atmosférico – PDA Temuco [Report]*. [http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=57e07ea7-0345-4886-b2ee-37f1795210d2&fname=INFORME%20FINAL%20EXPOST%20TEMUCO%20\(13 Nov 17\).pdf&access=public](http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=57e07ea7-0345-4886-b2ee-37f1795210d2&fname=INFORME%20FINAL%20EXPOST%20TEMUCO%20(13%20Nov%2017).pdf&access=public).

Mardones, C., & Cornejo, N. (2020a). Ex-post evaluation of a program to reduce critical episodes due to air pollution in southern Chile. *Environmental Impact Assessment Review*, 80, 106334.

Mardones, C., & Cornejo, N. (2020b). Ex-post evaluation of environmental decontamination plans on air quality in Chilean cities. *Journal of Environmental Management*, 256, 109929.

Mideksa, T. (2013). The economic impact of natural resources. *Journal of Environmental Economics and Management*, 65, 277-289.

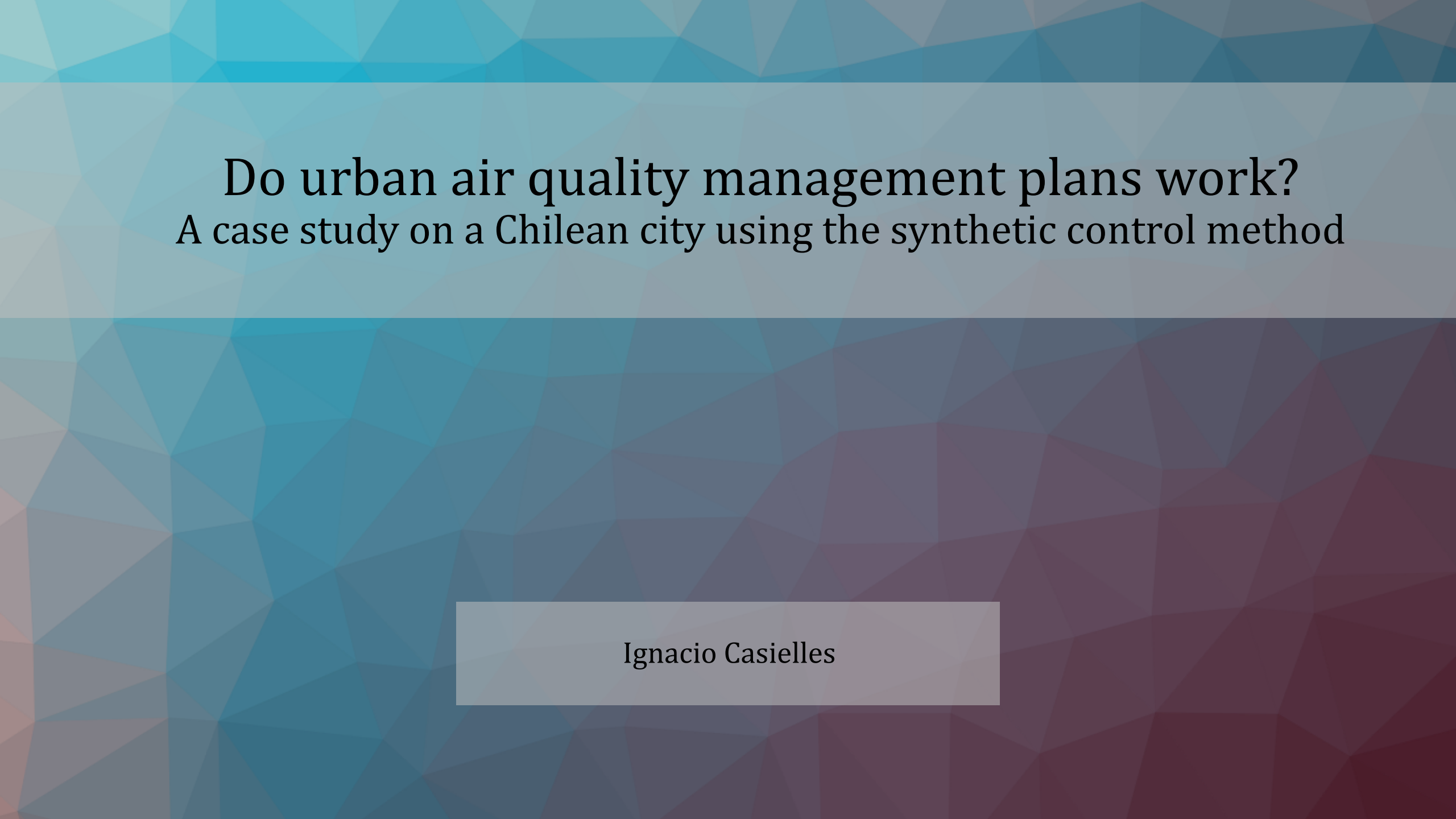
Ministerio del Medio Ambiente. (2015). *Decreto 8: Establece Plan de Descontaminación Atmosférica por $MP_{2.5}$ para las comunas de Temuco y Padre Las Casas y actualización del Plan de Descontaminación por MP_{10} , para las mismas comunas*. <https://ppda.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/05/DS-8-2015-Plan-de-Descontaminacion-Atmosferica-por-MP2-5-para-las-comunas-de-Temuco-y-Padre-las-Casas-actualizacion-del-plan-de-descontaminacion-por-MP10-para-las-mismas-comunas.pdf>

Mullins, J., & Bharadwaj, P. (2014) Effects of short-term measures to curb air pollution: Evidence from Santiago, Chile. *American Journal of Agricultural Economics*, 97(4), 1107-1134.

Naiker, Y., Diab, R., Zunckel, M., & Hayes, E. (2012). Introduction of local air quality management in South Africa: Overview and challenges. *Environmental Science and Policy*, 17, 62-71.

Referencias (4/4)

- Rana, P., & Miller, D. (2019). Explaining long-term outcome trajectories in social-ecological systems. *PLoS ONE*, 14(4), 0215230.
- Rana, P., & Sills, E. (2018). Does certification change the trajectory of tree cover in working forests in the tropics? An application of the synthetic control method of impact evaluation. *Forests*, 9, 98.
- Reimer, M., Guettabi, M., & Tanaka, A. (2017). Short-run impacts of a severance tax change: Evidence from Alaska. *Energy Policy*, 107, 448-458.
- Rieger, M., Wagner, N., & Bedi, A. (2017). Universal health coverage at the macro level: Synthetic control evidence from Thailand. *Social Science & Medicine*, 172, 46-55.
- Ruiz-Tagle, J. C., & Schueftan, A. (2019). *Reducing air pollution through behavioral changes of wood-stove users: Evidence from an RCT in Valdivia, Chile* (IDB Working Paper No. 959). <http://dx.doi.org/10.18235/0001894>.
- Schueftan, A., & González, A. (2015). Proposals to enhance thermal efficiency programs and air pollution control in south-central Chile. *Energy Policy*, 79, 48-57.
- Schueftan, A., Sommerhoff, J., & González, A. (2016). Firewood demand and energy policy in south-central Chile. *Energy for Sustainable Development*, 33, 26-35.
- Severnini, E. (2014). *The power of hydroelectric dams: Agglomeration spillovers* (IZA Discussion Paper No. 8082). <http://ftp.iza.org/dp8082.pdf>.
- Sills, E., Herrera, D., Kirkpatrick, A. J., Brandão, A., Dickson, R., Hall, S., Pattanayak, S., Shoch, D., Vedoveto, M., Young, L., & Pfaff, A. (2015). Estimating the impacts of local policy innovation: The synthetic control method applied to tropical deforestation. *PLoS ONE*, 10(7), 0132590.
- Vásquez Lavin, F., Barrientos, M., Castillo, Á., Herrera, I., & Ponce Oliva, R. (2020). Firewood certification programs: Key attributes and policy implications. *Energy Policy*, 137, 111160.
- Viard, V. B., & Fu, S. (2015). The effect of Beijing's driving restrictions on pollution and economic activity. *Journal of Public Economics*, 125, 98-115.
- Webber, P., Gouldson, A., & Kerr, N. (2015). The impacts of household retrofit and domestic energy efficiency schemes: A large scale, ex post evaluation. *Energy Policy*, 84, 35-43.
- Zhong, N., Cao, J., & Wang, Y. (2017). Traffic congestion, ambient air pollution and health: Evidence from driving restrictions in Beijing. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(3), 821-856.



Do urban air quality management plans work?

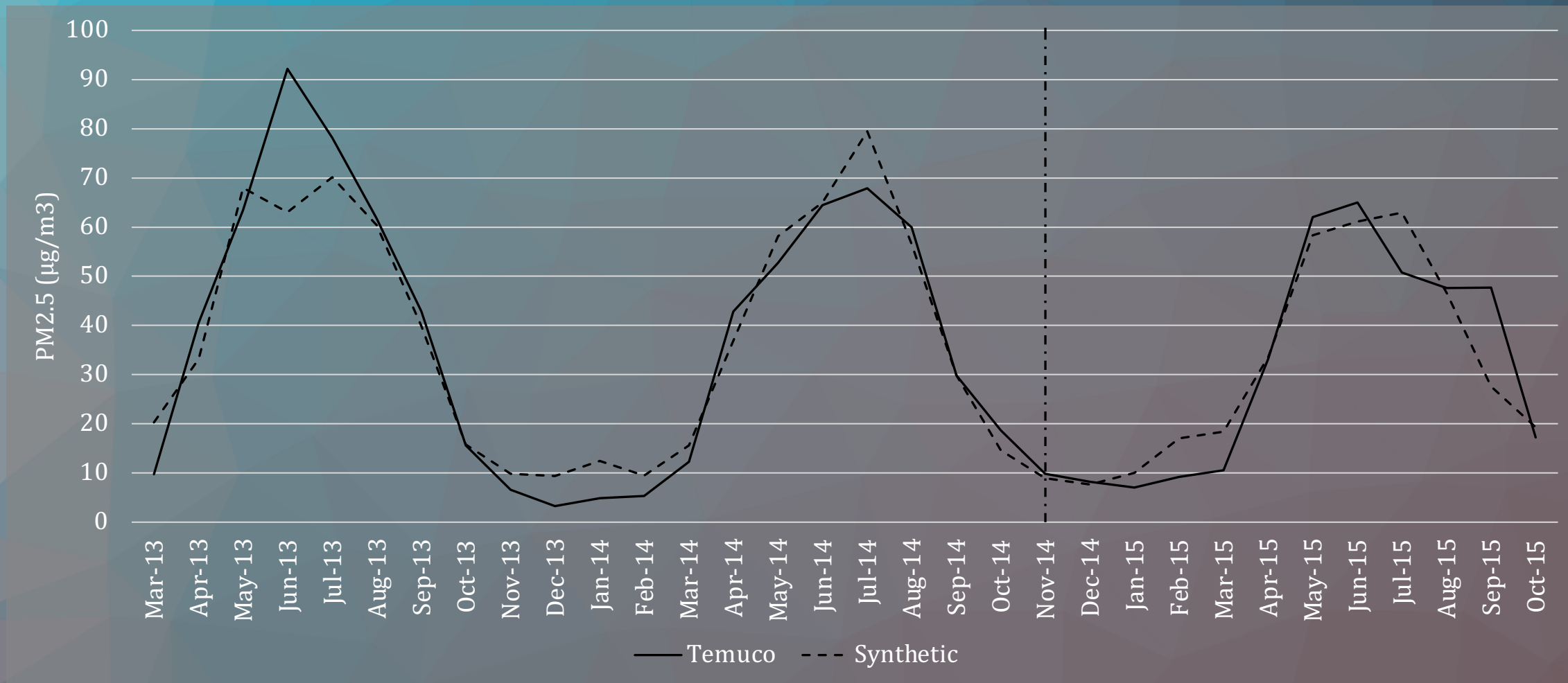
A case study on a Chilean city using the synthetic control method

Ignacio Casielles

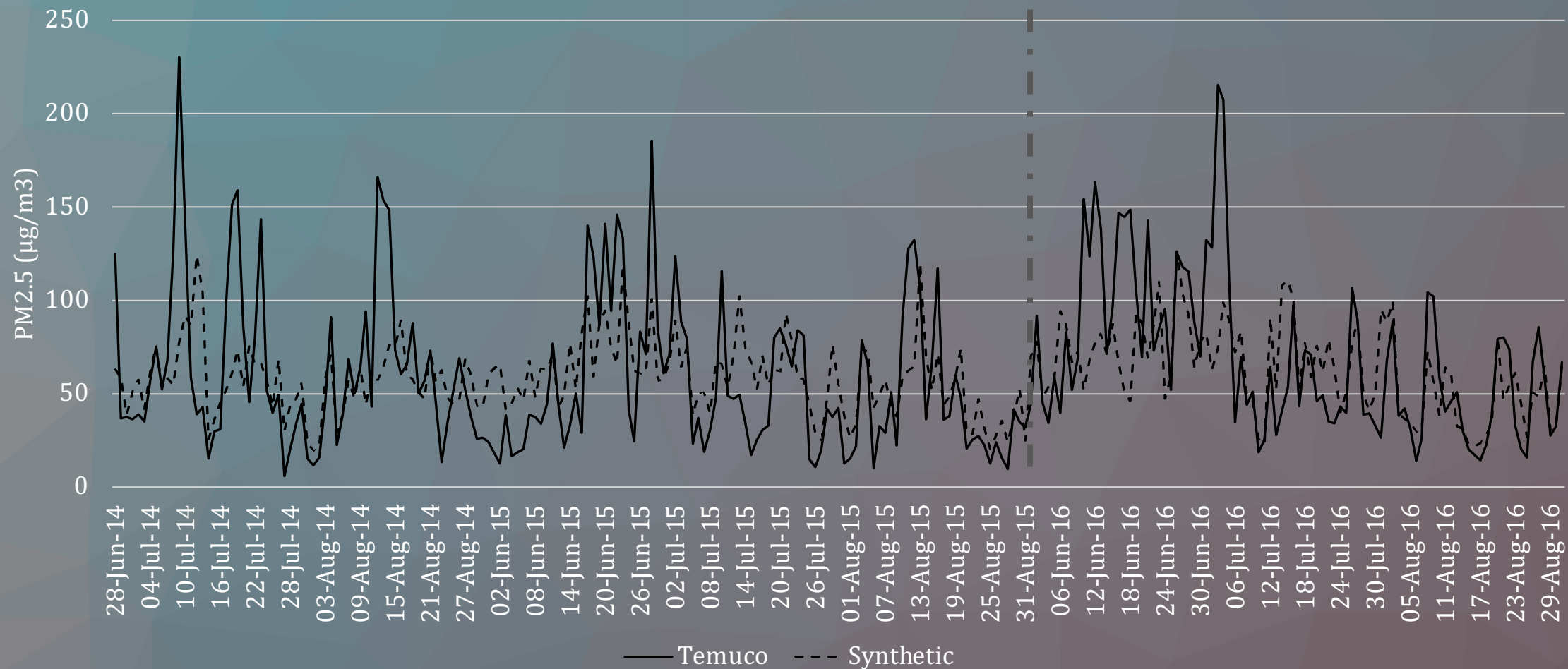
Control sintético

- W^* minimiza $||X_1 - X_0 W||$.
- La distancia se mide $||X_1 - X_0 W||_V = \sqrt{(X_1 - X_0 W)' V (X_1 - X_0 W)}$.
- V es una matriz $(k \times k)$ semidefinida positiva y simétrica.
- V minimiza el RMSPE de Y para los períodos antes del tratamiento.

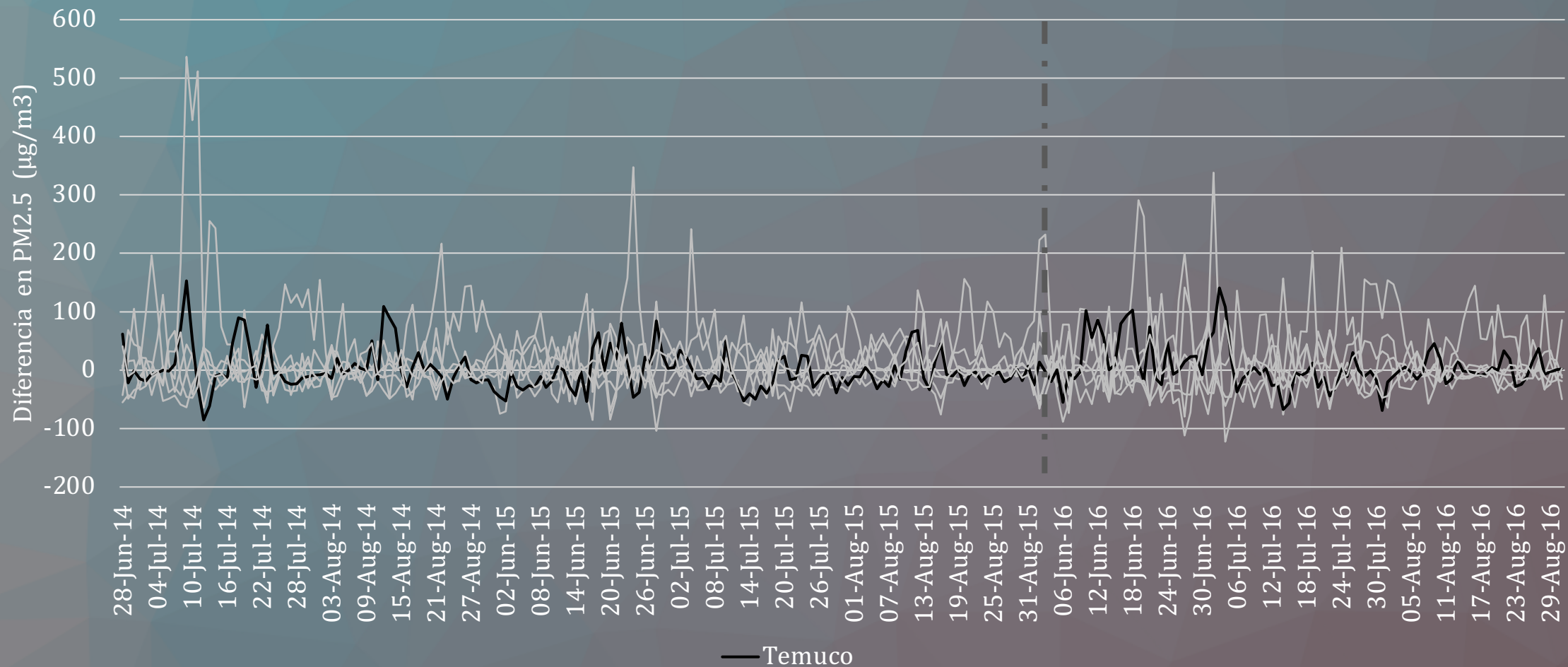
PM_{2.5}: Permutación temporal



PM_{2.5}: Análisis diario (trayectorias)



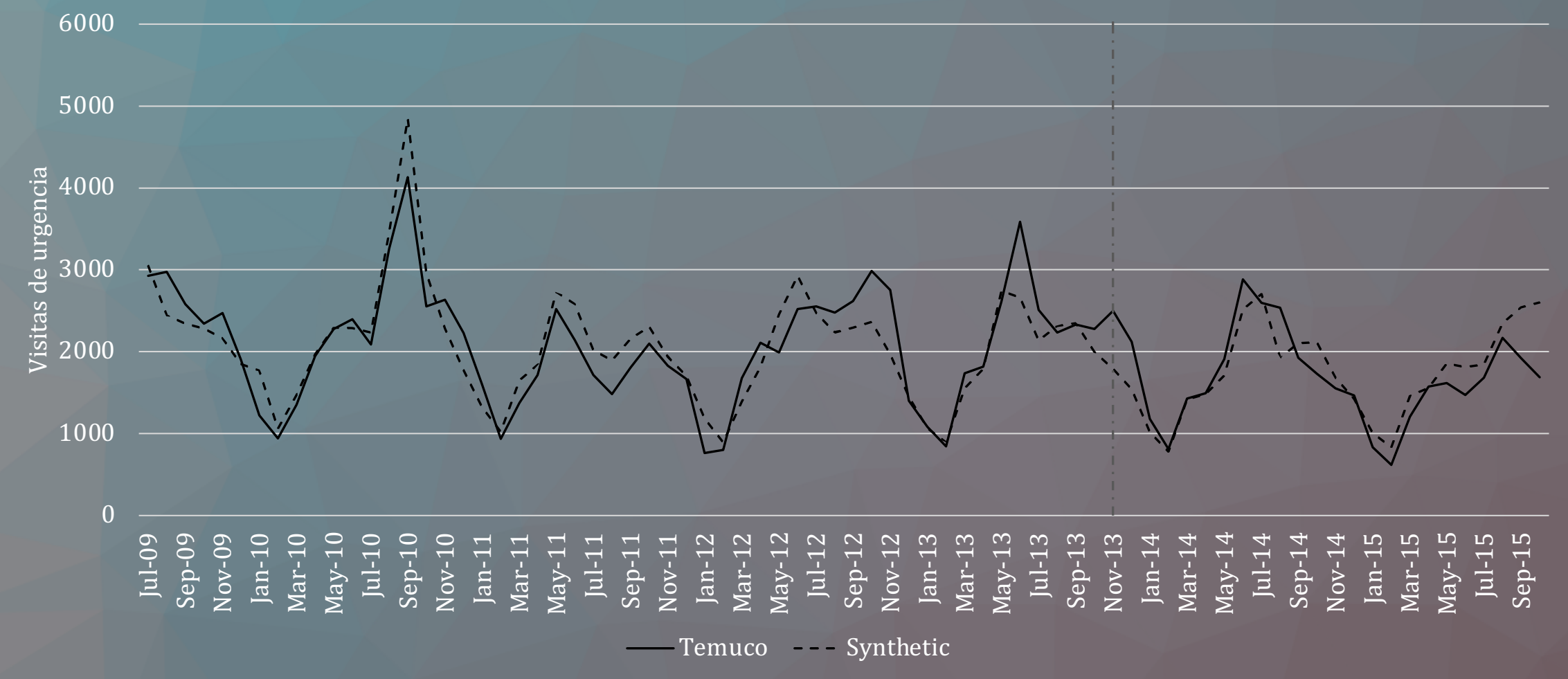
PM_{2.5}: Análisis diario (permutación local)



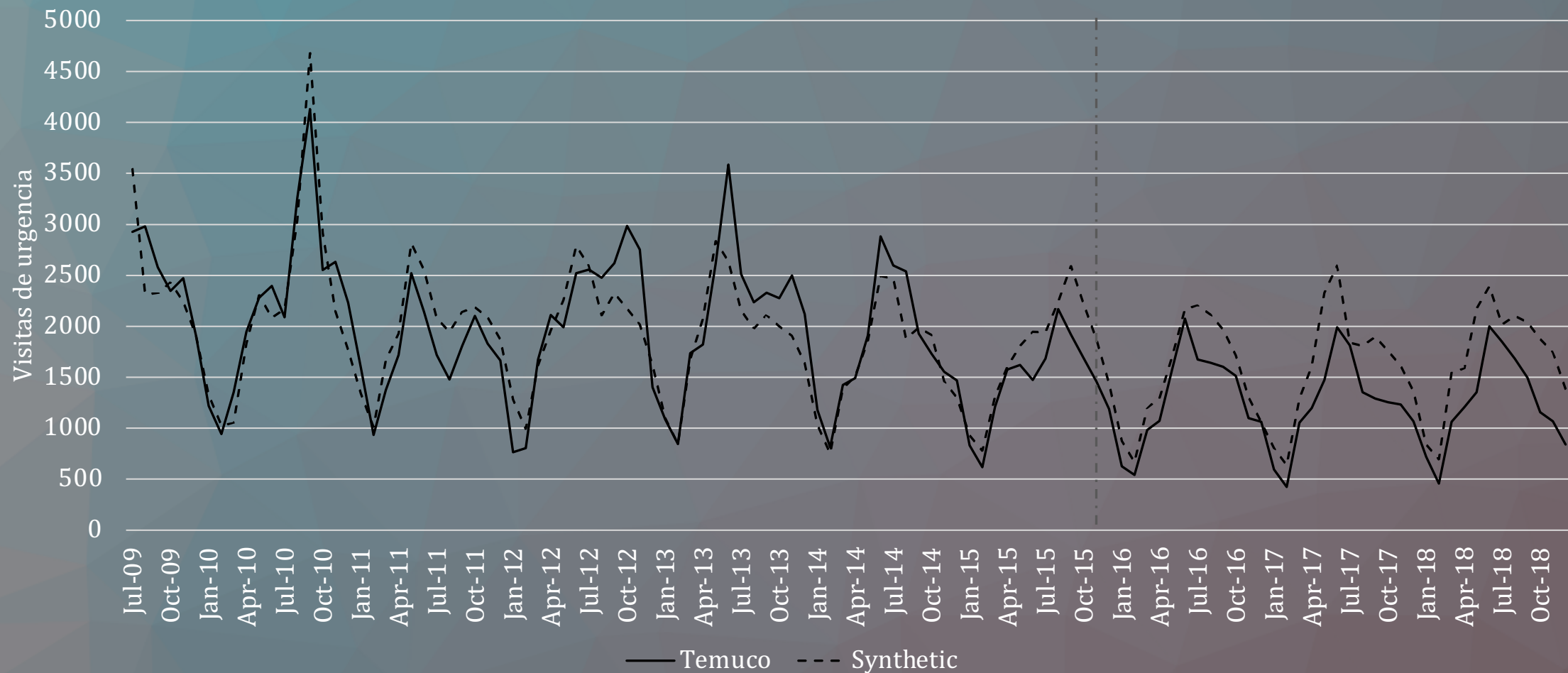
PM_{2.5}: Análisis diario (RMSPE ratios)



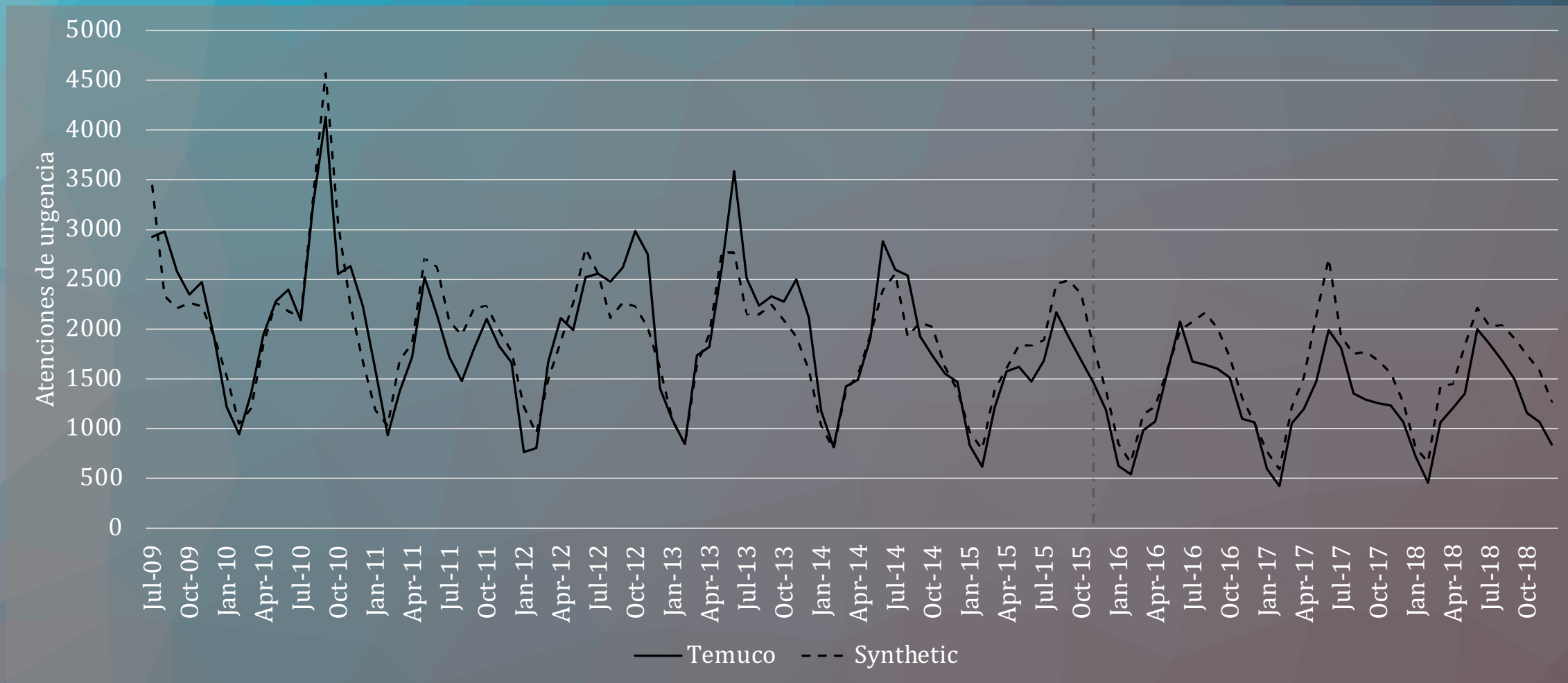
Urgencias: Permutación temporal



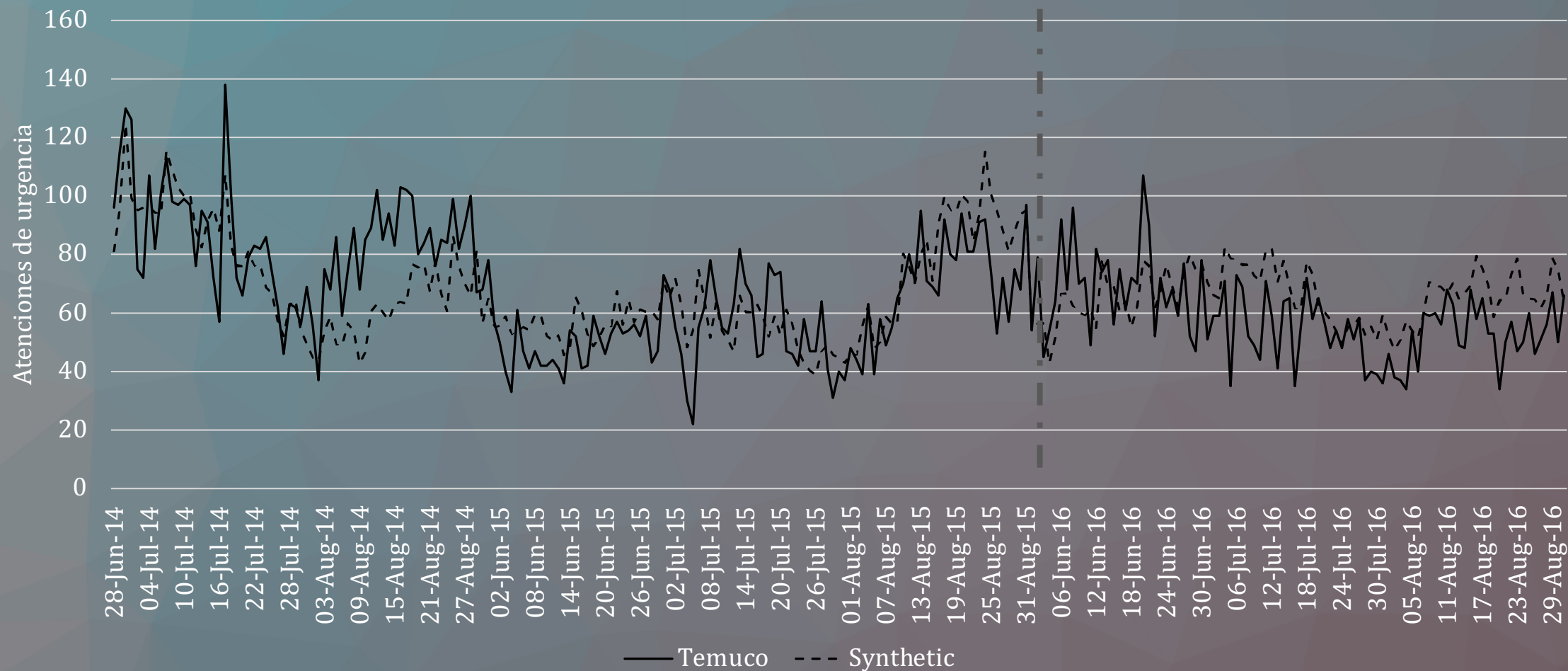
Urgencias: Cambios en especificación



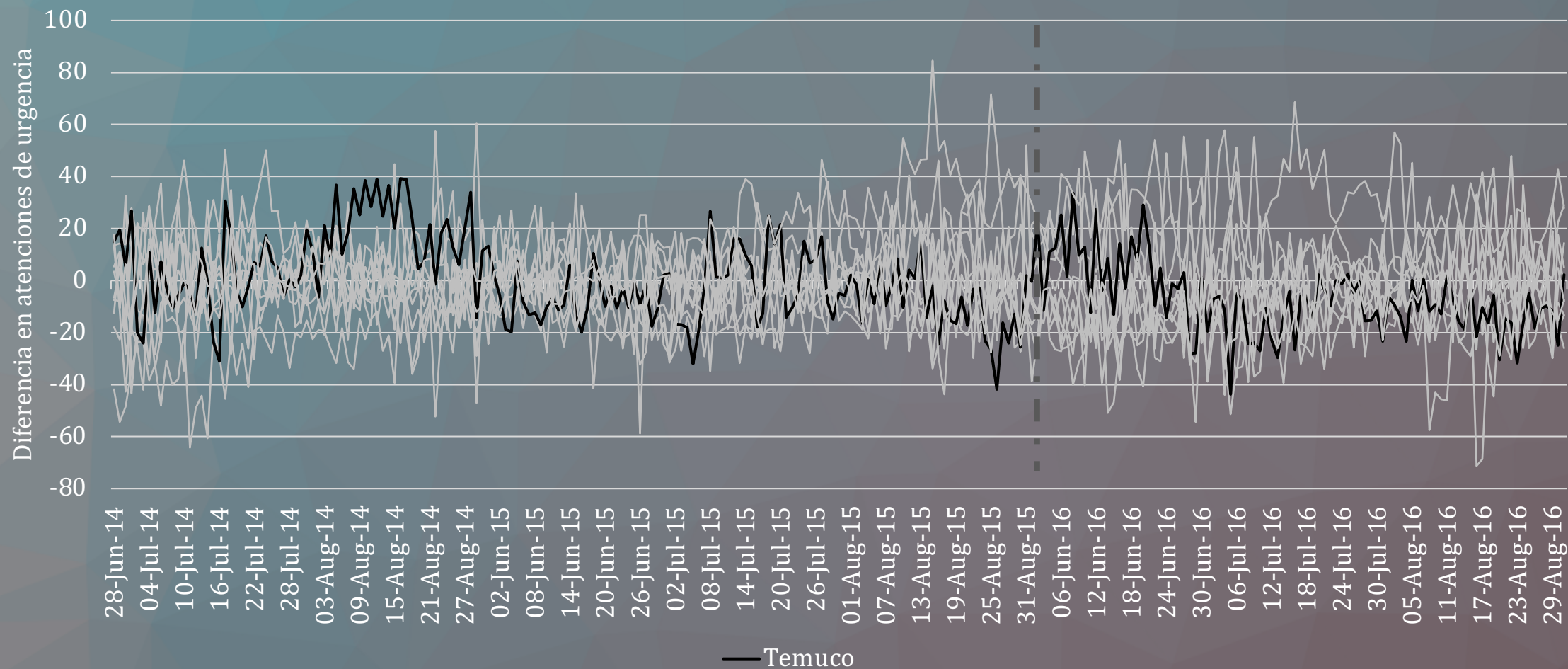
Urgencias: Cambios en *donor pool*



Urgencias: Análisis diario (trayectorias)



Urgencias: Análisis diario (permutación local)



Urgencias: Análisis diario (RMSPE ratios)

