



Influencia de factores climáticos en la demanda eléctrica de Argentina en diferentes escalas temporales

Emilio Bianchi

Docente: Ignacio Sagardoy

Índice

1. Introducción	1
2. Metodología	3
2.1. Datos	3
2.2. Metodos	3
3. Resultados	6
3.1. Descripción de demanda eléctrica	6
3.2. Escala intra-diaria	8
3.3. Escala intra-estacional	9
3.4. Escala estacional/interanual	10
4. Referencias	10

1. Introducción

A nivel global, los sistemas eléctricos regionales y nacionales son cada vez más sensibles a las variaciones climáticas [1]. Tanto la oferta como la demanda eléctrica son afectadas por las condiciones meteorológicas y sus variaciones temporales [2, 3]. La demanda de electricidad está afectada principalmente por la temperatura del aire [4, 5, 6]; y otras variables meteorológicas como velocidad del viento, nubosidad o radiación solar [7, 8]. En los últimos años la sensibilidad de la demanda eléctrica a las variaciones climáticas a nivel global se ha incrementado debido a: 1) aumento de usos de calefacción y refrigeración en los sectores comercial y residencial [9, 10, 11, 6] y 2) tendencias en variables climáticas como la temperatura del aire y aumento de frecuencia de eventos climáticos extremos [8, 12, 13]. Esta tendencia ha implicado cambios en los patrones estacionales de consumo eléctrico y aumentos en la potencia máxima demandada, lo cual tiende a aumentar los costos y la incertidumbre en la operación y planificación de los sistemas eléctricos [12, 10, 13]. La demanda de electricidad a nivel de país o región depende de múltiples factores no climáticos como población, actividad económica, características de los hogares [7, 6, 14]; y climáticos [4, 8]. La conjunción de estos factores otorgan a la demanda eléctrica características de variabilidad temporal particulares [15]. Se destacan periodicidades diarias, semanales y estacionales, y picos de consumo [16, 15]. Los operadores

de los sistemas eléctricos deben regular la generación de energía eléctrica para satisfacer la demanda en todo momento, y prever disponibilidad de capacidad de generación para momentos de alto consumo [16, 11]. Estas actividades de operación, mantenimiento y planificación realizadas por los administradores de los sistemas eléctricos tienen diferentes alcances temporales [16, 17]. Acker [16] y Xue y Geng [18] brindan una clasificación de tres escalas temporales de la variabilidad de la demanda eléctrica, junto con sus drivers y operaciones en el sistema eléctrico asociadas:

- Corto plazo. Segundos – minutos – horas. Asociada a cambios en las condiciones meteorológicas. Actividades de regulación de frecuencia y seguimiento de carga.
- Mediano plazo. Días – semanas. Asociada a variaciones meteorológicas en las escalas sinóptica y subestacional. Actividades de planificación diaria y estacional de mantenimiento y disponibilidad de unidades de generación.
- Largo plazo. Meses – años. Asociada a variaciones climáticas estacionales y seculares y a otros factores no climáticos (actividad económica, población). Actividades de planificación estacional y planificación de incrementos de capacidad de generación de largo plazo.

Como se mencionó antes, la demanda eléctrica a nivel global está experimentando un aumento en la sensibilidad a las variaciones climáticas debido a mayores requerimientos en los sectores comercial y residencial para usos de calefacción y refrigeración [10, 6]. Esto, a su vez, es reforzado por tendencias climáticas y aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos [8, 12, 13] que se prevé que van a agravarse en el futuro [19, 20]. En Argentina, de hecho, los records de potencia y energía en el Sistema Argentino De Interconexión (SADI) ocurren durante el invierno y verano asociados a eventos de temperaturas extremas en las zonas donde se concentra el mayor porcentaje de usuarios del mercado eléctrico (<https://cammesaweb.cammesa.com/2023/03/14/maximos-historicos-de-energia-y-potencia-estacionales/>). Es por esto que el estudio de las relaciones entre la variabilidad climática y la demanda eléctrica no solo brinda herramientas para mejorar la operación y planificación del sistema eléctrico en el corto y mediano plazo [10, 21], si no también para prever el impacto de cambios climáticos de largo plazo [22, 19]. Actualmente, salvo el trabajo de Zanek et al. [15], para la ciudad de Salta, no existen antecedentes de estudio de la relación clima-demanda eléctrica en Argentina. El objetivo general de este trabajo es la caracterización de la influencia de las variaciones meteorológicas en la demanda eléctrica de Argentina en diferentes escalas temporales. Los Objetivos específicos son:

- Caracterizar la influencia de las variaciones meteorológicas en la demanda eléctrica en escalas intra-diaria (horas) y diaria.

- Caracterizar la influencia de las variaciones meteorológicas en la demanda eléctrica en la escala intra-estacional (días).
- Caracterizar la influencia de las variaciones meteorológicas en la demanda eléctrica en la escala estacional (meses) e interanual (años).

[]

2. Metodología

2.1. Datos

Actualmente se cuenta con una serie de demanda horaria para los años 2021-2022-2023 provistos por un investigador de Fundación Bariloche, y con una serie de demanda diaria para el período de 2007-2022. Se trabajara con series de datos climáticos en diferentes resoluciones temporales (horarias-diarias-mensuales) para la región donde se concentra la mayor cantidad de usuarios del mercado eléctrico de Argentina. Será prioritario el uso de datos observacionales de la red del Servicio Meteorológico Nacional. Estos datos se gestionarán a traves del Centro de Información Meteorológica (<https://www.argentina.gob.ar/smn/institucional/contacto>). En caso de no contar con alguna serie observacional, se complementará con información del reanalisis climático MERRA2 (<https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/merra2/>) [23]

2.2. Metodos

La serie de demanda eléctrica es una agregación de los consumos individuales de multiples usuarios que estan dispersos geográficamente. Las variaciones climáticas afectan a todos, de diferentes maneras dependiendo de la región en la que se encuentran. Los consumidores de energía eléctrica no se encuentran equidistribuidos en el territorio, si no que se concentran en diferentes regiones. Actualmente, cerca del 70 % de la energía eléctrica consumida anualmente se concentra en las regiones Centro, Litoral, C.A.B.A. y G.B.A (ver figura 1). Una aproximación para confeccionar series de datos climáticos representativas de las zonas de mayor demanda eléctrica sería realizar un promedio ponderado por población o por consumo eléctrico de series en los principales centros urbanos.

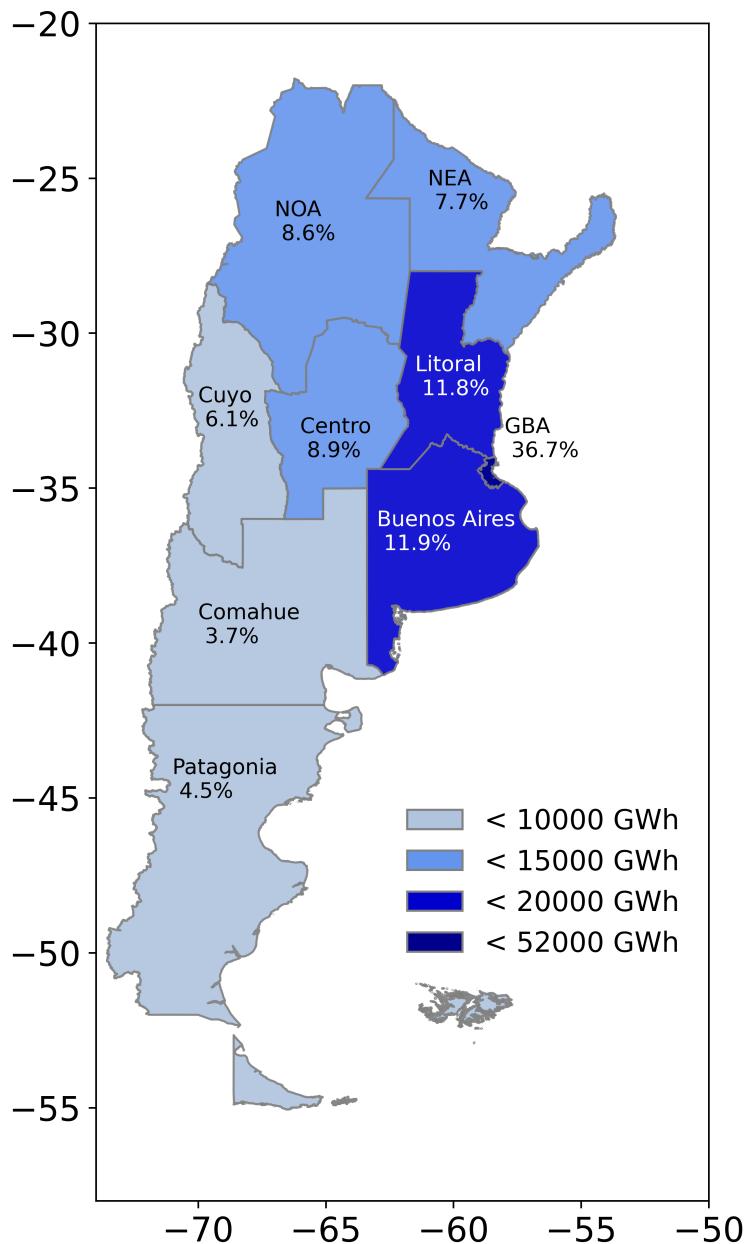


Figura 1: Distribución geográfica de la demanda eléctrica del año 2024.
Adaptado de CAMMESA

Luego, es necesario aislar la variabilidad de causa climática de la no-climática, o aislar la variabilidad climática propia de la escala temporal. Esto será abordado de manera diferente para cada escala temporal a abordar. Para la escala temporal de corto plazo (datos horarios), se analizará la presencia de una tendencia de largo plazo en la serie de tres años y, eventualmente se re-

moverá. Se realizará el mismo procedimiento con los datos climáticos. Luego, se realizará un análisis para cada mes por separado para eliminar el efecto de la variación anual. No se tendrán en cuenta en el análisis los días feriados ni los fines de semana. Se realizarán composites de curvas diarias de demanda eléctrica para diferentes valores o rangos de valores de variables climáticas. En la escala de mediano plazo (datos diarios), se implementará el método de Cerne Vera ([24]) para aislar la variabilidad climática intra-estacional en una serie temporal: a cada valor diario se le substrae el promedio diario climatológico (que responde al ciclo anual), y el desvío estacional (que responde a la anomalía climática de cada año en particular). Por ejemplo, la anomalía intraestacional de un año (a) y día (d) particular en el trimestre de verano (DEF) es:

$$\begin{aligned} \text{Anomalía intraestacional}_{(d,a)} &= \text{valor diario}_{(d,a)} - \text{promedio diario} \\ &\text{climatológico}_{(d)} - (\text{promedio estacional } DEF_{(a)} - \text{promedio estacional } DEF \\ &\text{de largo plazo}) \end{aligned}$$

Este procedimiento elimina las tendencias de largo plazo de las series temporales por lo que no es necesario realizar otro procedimiento. Se eliminarán del análisis los días feriados y fines de semana. Los datos serán agrupados por estaciones, y se analizará la relación entre la demanda eléctrica y las variables climáticas en forma gráfica y mediante tablas de contingencia y análisis de significancia de coeficientes de correlación lineales o no lineales. Para la escala temporal de largo plazo (datos mensuales), se eliminará la tendencia de largo plazo en la serie de demanda. Esto puede hacerse mediante algún método multivariado que contemple el efecto del nivel de actividad económica como sugiere Psiloglou et al. ([7]). Luego, se analizará la relación entre la demanda eléctrica y las variables climáticas en forma gráfica y mediante tablas de contingencia y análisis de significancia de coeficientes de correlación lineales o no lineales.

3. Resultados

3.1. Descripción de demanda eléctrica

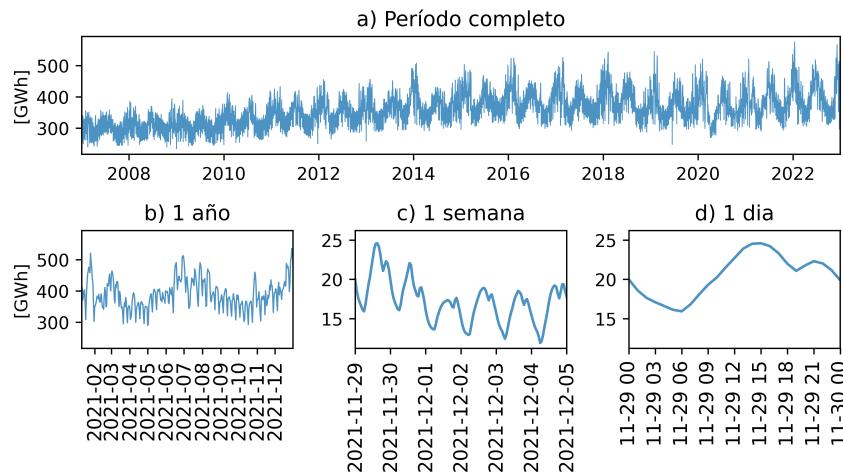


Figura 2: Serie diaria de demanda eléctrica (a), y escalas características de variabilidad (b, c y d)

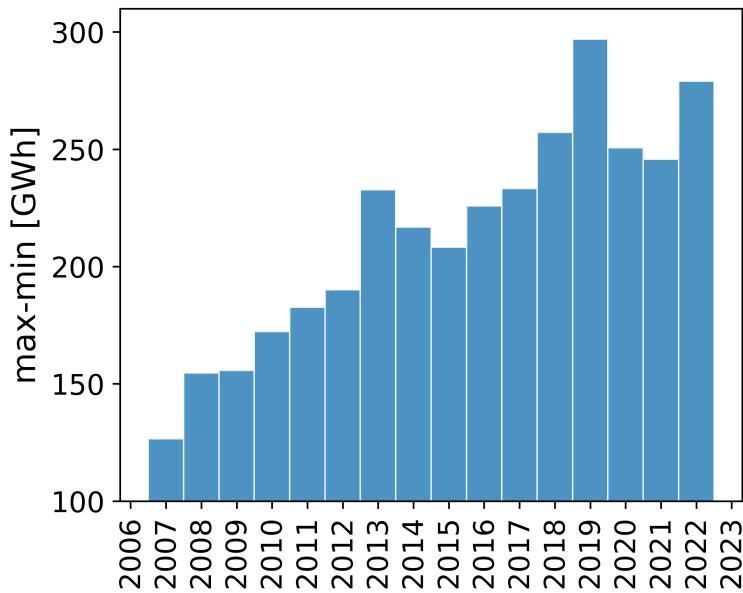


Figura 3: Diferencia anual entre máximo y mínimo absolutos de demanda diaria

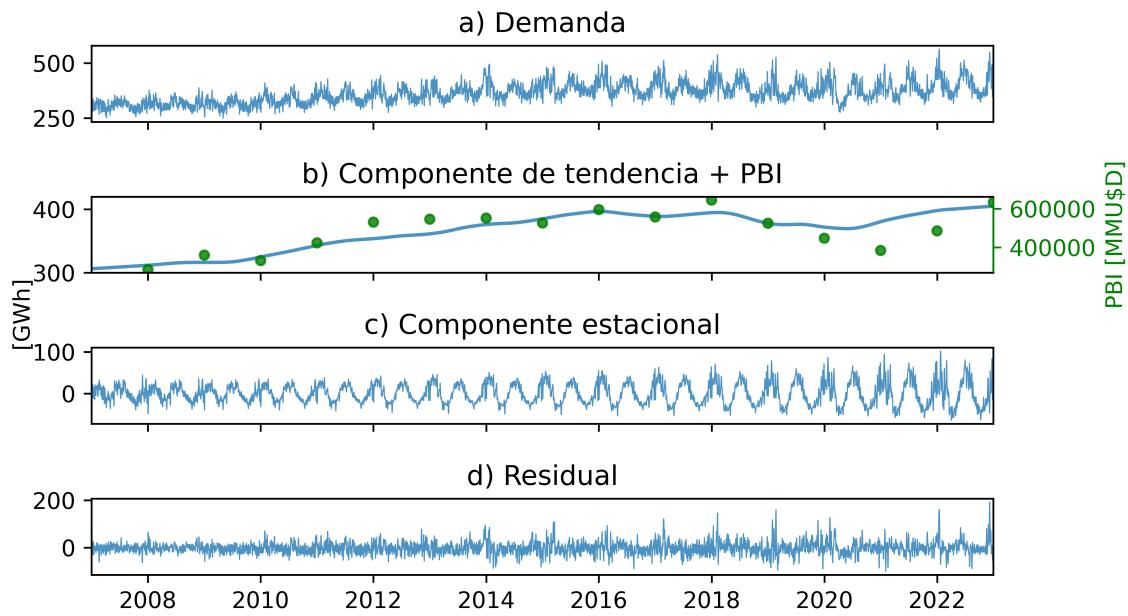


Figura 4: Descomposición de Loess de la serie de demanda diaria (a) en las componentes de tendencia (b), estacional (c) y residual (d)

3.2. Escala intra-diaria

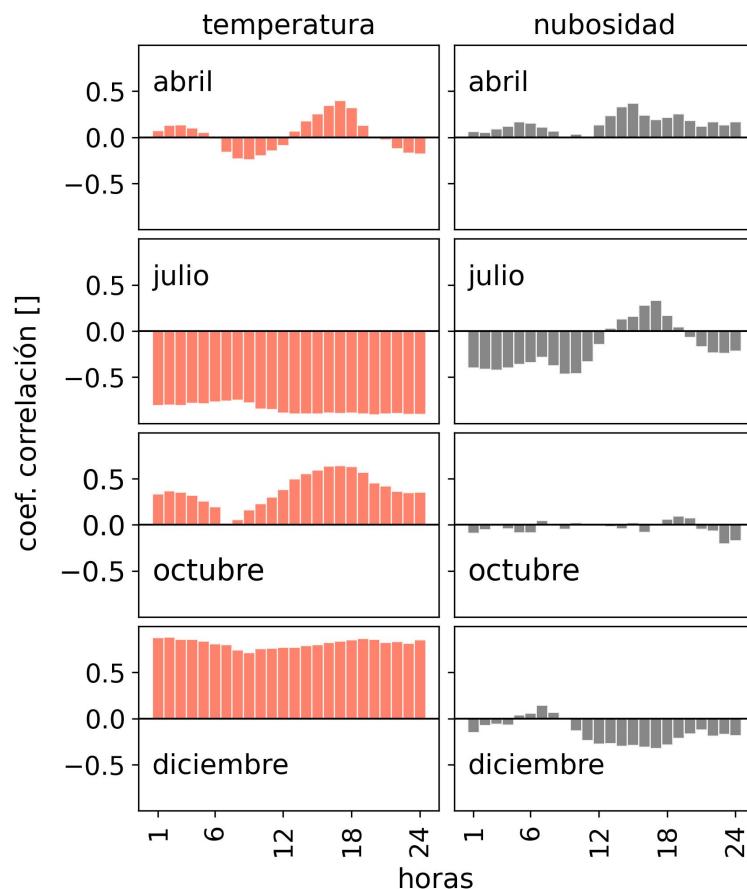


Figura 5: Coeficientes de correlación horarios entre demanda eléctrica y temperatura (columna izquierda) y nubosidad (columna derecha)

3.3. Escala intra-estacional

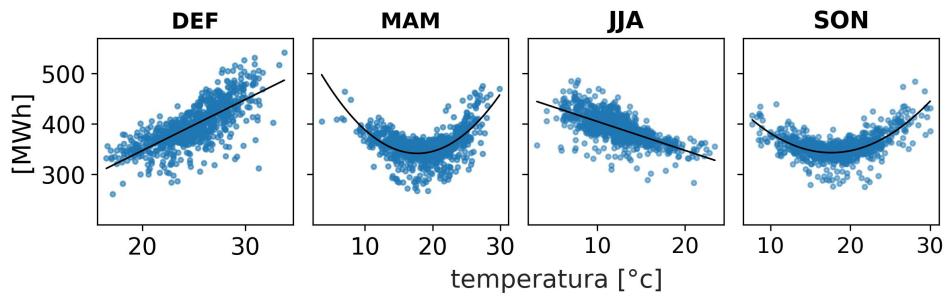


Figura 6: Diagramas de dispersión entre demanda eléctrica y temperatura del aire

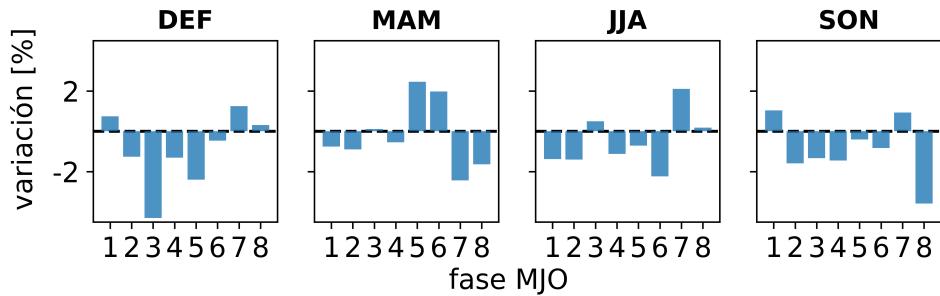


Figura 7: Anomalías percentuales de demanda eléctrica por estación del año y por fase de la MJO

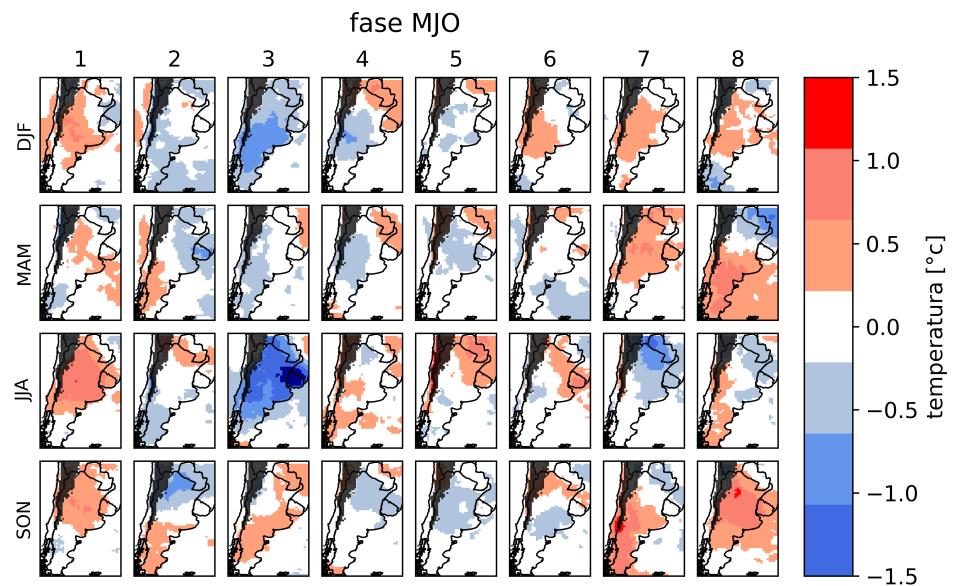


Figura 8: Mapas de anomalías de temperatura del aire por estación del año y por fase de la MJO

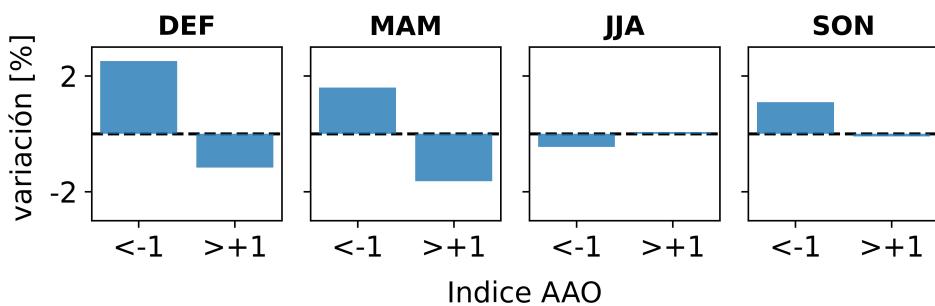


Figura 9: Anomalías percentuales de demanda eléctrica por estación del año y por fase de la AAO

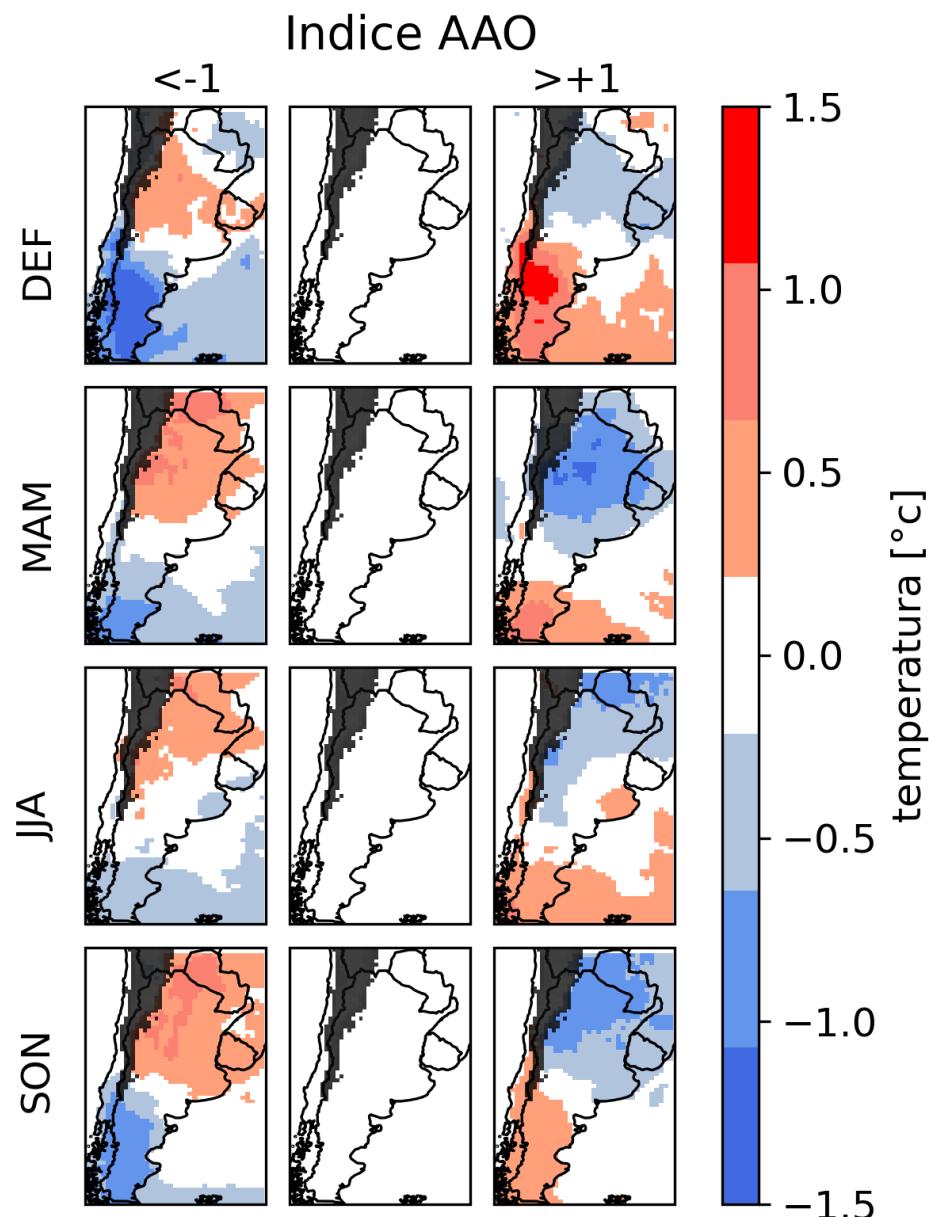


Figura 10: Mapas de anomalías de temperatura del aire por estación del año y por fase de la AAO

3.4. Escala estacional/interanual

4. Referencias

Referencias

- [1] G. Hoste, M. Dvorak, M. Z. Jacobson, Matching hourly and peak demand by combining different renewable energy sources, Sanford University, Department of Civil and Environmental Engineering (2009).
- [2] L. Dubus, S. Muralidharan, A. Troccoli, What does the energy industry require from meteorology?, in: Weather & Climate Services for the Energy Industry, Springer International Publishing Cham, 2018, pp. 41–63.
- [3] I. Staffell, S. Pfenninger, The increasing impact of weather on electricity supply and demand, *Energy* 145 (2018) 65–78.
- [4] J. Moral-Carcedo, J. Vicéns-Otero, Modelling the non-linear response of spanish electricity demand to temperature variations, *Energy economics* 27 (3) (2005) 477–494.
- [5] M. De Felice, A. Alessandri, F. Catalano, Seasonal climate forecasts for medium-term electricity demand forecasting, *Applied Energy* 137 (2015) 435–444.
- [6] T. G. Cassarino, E. Sharp, M. Barrett, The impact of social and weather drivers on the historical electricity demand in europe, *Applied energy* 229 (2018) 176–185.
- [7] B. Psiloglou, C. Giannakopoulos, S. Majithia, M. Petrakis, Factors affecting electricity demand in athens, greece and london, uk: A comparative assessment, *Energy* 34 (11) (2009) 1855–1863.
- [8] F. Apadula, A. Bassini, A. Elli, S. Scapin, Relationships between meteorological variables and monthly electricity demand, *Applied Energy* 98 (2012) 346–356.
- [9] M. Auffhammer, E. T. Mansur, Measuring climatic impacts on energy consumption: A review of the empirical literature, *Energy Economics* 46 (2014) 522–530.
- [10] S. de Escenarios, La temperatura y su influencia en la demanda de energía eléctrica: Un análisis regional para argentina usando modelos econométricos.

- [11] H. E. Thornton, A. A. Scaife, B. J. Hoskins, D. J. Brayshaw, The relationship between wind power, electricity demand and winter weather patterns in great britain, *Environmental Research Letters* 12 (6) (2017) 064017.
- [12] X. Ke, D. Wu, J. Rice, M. Kintner-Meyer, N. Lu, Quantifying impacts of heat waves on power grid operation, *Applied energy* 183 (2016) 504–512.
- [13] J. A. Añel, M. Fernández-González, X. Labandeira, X. López-Otero, L. De la Torre, Impact of cold waves and heat waves on the energy production sector, *Atmosphere* 8 (11) (2017) 209.
- [14] L. M. G. Paliza, K. Caballera Güedndulain, C. A. Francisco Cruz, La demanda de electricidad residencial y el cambio climático en argentina, brasil, chile y colombia., *Revista Chilena de Economía y Sociedad* 15 (2) (2021).
- [15] F. Zanek, E. Xamena, D. Rodríguez, Definición de una red neuronal para simular el consumo eléctrico horario de la ciudad de salta, in: Simposio Argentino de Inteligencia Artificial (ASAI 2022)-JAIIO 51 (Modalidad virtual y presencial (UAI), octubre 2022), 2022.
- [16] T. Acker, Iea wind task 24 integration of wind and hydropower systems; volume 1: Issues, impacts, and economics of wind and hydropower integration, Tech. rep., National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States) (2011).
- [17] S. Khatoon, A. K. Singh, et al., Effects of various factors on electric load forecasting: An overview, in: 2014 6th IEEE Power India International Conference (PIICON), IEEE, 2014, pp. 1–5.
- [18] B. Xue, J. Geng, Dynamic transverse correction method of middle and long term energy forecasting based on statistic of forecasting errors, in: 2012 10th International Power & Energy Conference (IPEC), IEEE, 2012, pp. 253–256.
- [19] G. S. Eskeland, T. K. Mideksa, Electricity demand in a changing climate, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15 (8) (2010) 877–897.
- [20] T. K. Mideksa, S. Kallbekken, The impact of climate change on the electricity market: A review, *Energy policy* 38 (7) (2010) 3579–3585.
- [21] N. MacMackin, L. Miller, R. Carriveau, Modeling and disaggregating hourly effects of weather on sectoral electricity demand, *Energy* 188 (2019) 115956.

-
- [22] M. Bessec, J. Fouquau, The non-linear link between electricity consumption and temperature in europe: A threshold panel approach, *Energy Economics* 30 (5) (2008) 2705–2721.
 - [23] R. Gelaro, W. McCarty, M. J. Suárez, R. Todling, A. Molod, L. Takacs, C. A. Randles, A. Darmenov, M. G. Bosilovich, R. Reichle, et al., The modern-era retrospective analysis for research and applications, version 2 (merra-2), *Journal of climate* 30 (14) (2017) 5419–5454.
 - [24] S. B. Cerne, C. S. Vera, Influence of the intraseasonal variability on heat waves in subtropical south america, *Climate Dynamics* 36 (11) (2011) 2265–2277.