

Análisis de variabilidad y pronóstico del recurso eólico para parques GENNEIA

Emilio Bianchi y Tomás Guozden

1. Resumen ejecutivo

En el presente informe:

- Se analizan las causas de la merma en el recurso eólico registrado en el período 11/2020 - 07/2021 para los parques pertenecientes a GENNEIA.
- Se definieron eventos de merma utilizando un parámetro de la distribución estadística y se comparó el evento de merma reciente con otros eventos registrados durante el periodo 1980-presente, y se realizó una estadística descriptiva de estos eventos.
- Se aplicaron diferentes metodologías de pronóstico de velocidad de viento para el período 10/2021 - 12/2022: se estudiaron las relaciones con forzantes climáticos de gran escala, se aplicó el modelo autorregresivo SARIMA, se analizaron los pronósticos de viento a 10 metros de altura provistos por Centro Europeo para el Pronóstico Meteorológico de Mediano Plazo, y se analizaron las correlaciones entre promedios mensuales, bimensuales y trimestrales versus promedios anuales de velocidad del viento.

En el período 11/2020 - 07/2021 se registró una merma generalizada del recurso eólico en los parques eólicos de GENNEIA. A grandes rasgos los meses en los que se registraron menores velocidades del viento fueron noviembre, enero, febrero, marzo y abril. Si bien durante este período se presentaron marcadas anomalías climáticas de gran escala, la ocurrencia de esta merma parece estar asociada a la ocurrencia de valores positivos de la Oscilación Antártica durante todo el período, pero más altos hasta el mes de marzo; y luego a anomalías de circulación atmosférica forzadas remotamente desde el océano Pacífico Oeste. La ocurrencia de estos fenómenos climáticos de gran escala implica la prevalencia de alta presión atmosférica sobre la región centro de Argentina, lo cual a su vez implica menores velocidades del viento. Estos eventos de merma del recurso ocurren en promedio cada 11.1 meses y el tiempo de recuperación una vez iniciado un evento de merma es de 5.3 meses en promedio.

No se encontraron correlaciones significativas entre índices climáticos (salvo la Oscilación Antártica) y las series de viento derivadas de MERRA2 lo suficiente robustas como para realizar pronósticos para el período 10/2021 - 12/2022. Los pronósticos realizados con el modelo autorregresivo SARIMA

muestran a grandes rasgos para el período 10/2021 - 12/2022 valores que no se apartan significativamente de los promedios. Aunque la incertidumbre, determinada por el rango del intervalo de confianza, es grande. La herramienta con mayor aptitud para realizar una inferencia sobre la evolución futura del recurso eólico resultó de una combinación de ensambles de simulaciones de modelos meteorológicos (cuyos pronósticos se extienden hasta marzo del 2022) con correlaciones intra-anales de las series históricas de viento. En promedio, el 75 % de los pronósticos para todos los sitios indican un trimestre enero-febrero-marzo de 2022 normal a bueno. Por otro lado, analizando la ocurrencia conjunta de trimestres efm y años (malos y buenos) se pueden extender los pronósticos a todo el 2022. Este análisis da 58 % de probabilidad de un año 2022 de normal a bueno.

2. Metodología

Se complementaron los datos observados de velocidad del viento provistos por GENNEIA con datos de velocidad del viento derivados del reanálisis **MERRA2**. Se extrajeron las variables velocidad de viento a 2, 10 y 100 metros de altura (U/V2M, U/V10M, U/V50M) en los puntos de grilla cercanos a los nodos eólicos (figura 1), y se extrapoló la velocidad del viento a 100 metros de altura utilizando las velocidades a estas diferentes alturas asumiendo un perfil logarítmico del viento con la altura [1, 2, 3]. Estos datos de velocidad del viento derivados de reanálisis muestran una alta correlación con los datos observacionales (ver figura 2 y tabla 1), lo cual permite contar con series extendidas en el tiempo y homogéneas. En las secciones subsiguientes, tanto en el análisis retrospectivo de mermas como para la descripción de los pronósticos, cuando se referencie el viento medio, este será el viento medio derivado de MERRA2 para el período 1980-presente. En la tabla 2 se comparan los valores del viento P50 y promediado de las series observacionales (ambos provistos por GENNEIA), los promedios derivados de MERRA2 durante el período 1980-presente, y las diferencias porcentuales entre el viento derivado de MERRA2 durante este último período y durante el período de medición de cada parque. Se puede observar que, salvo para los casos de Pomona y Villalonga, las campañas de medición coincidieron con períodos de con vientos promedio más elevados. Las diferencias porcentuales entre la velocidad del viento en el período 1980-presente y el período de medición (ambos MERRA2) alcanza el 5 % para el caso de Rawson. Las figuras 3 y 4 ilustran los ejemplos de Rawson y Pomona, donde las observaciones produjeron una sobre y sub-estimación del recurso, respectivamente.

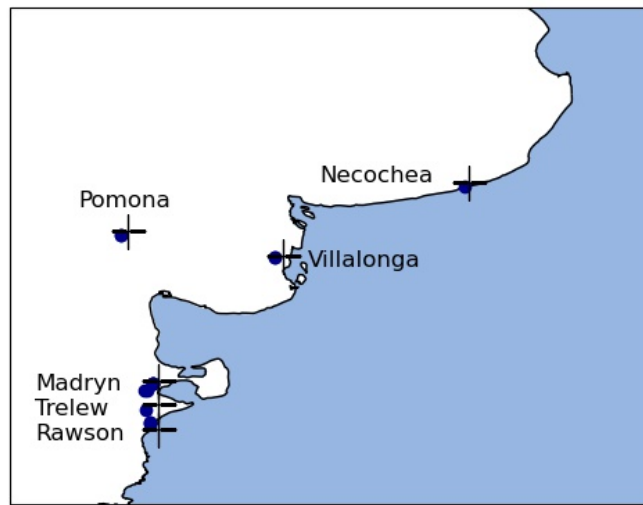


Figura 1: Ubicación de parques eólicos (puntos) y coordenadas de los puntos de grilla más cercanos de MERRA2 (cruces)

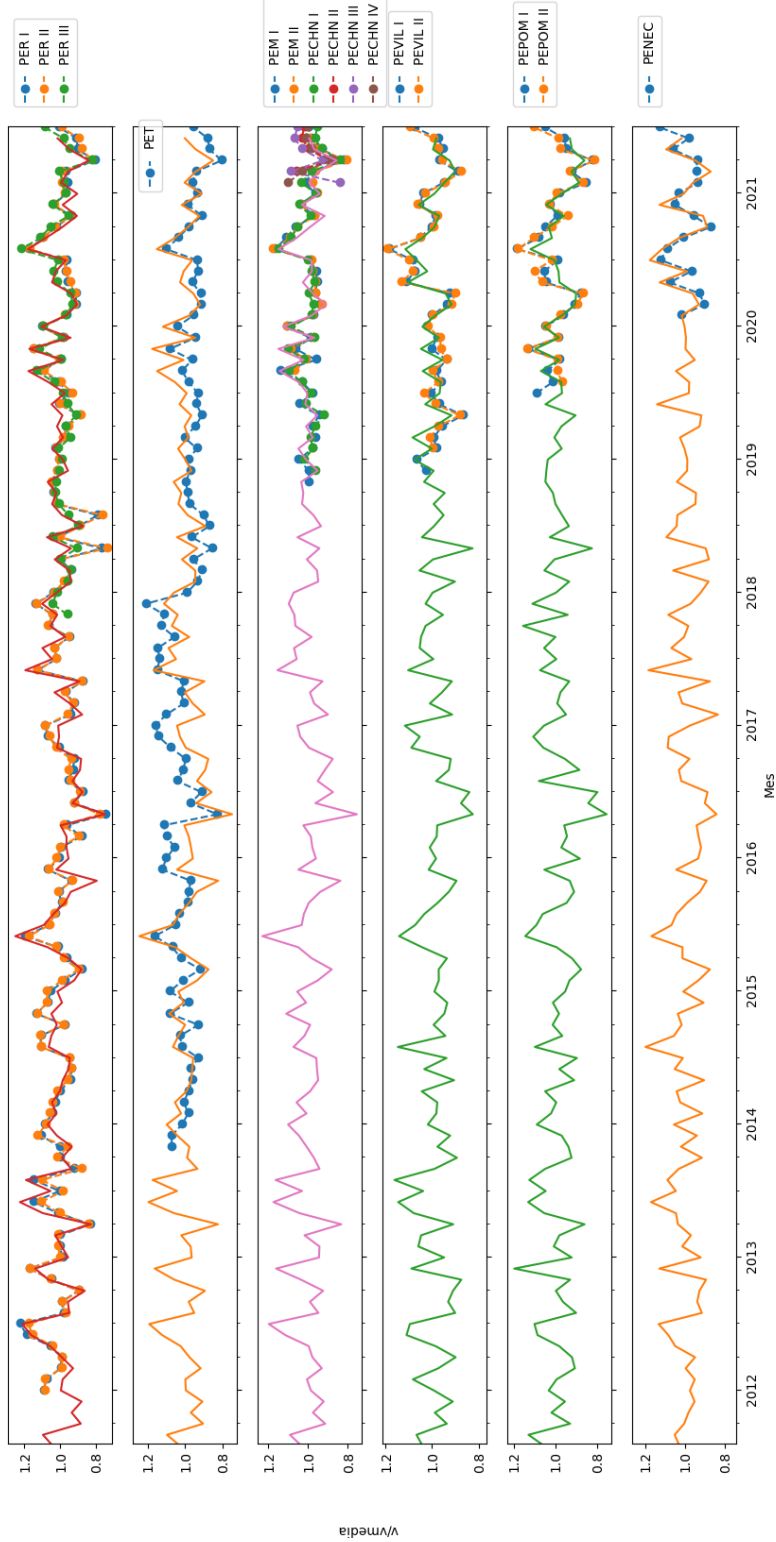


Figura 2: Series de velocidades de viento medidas (puntos) y derivadas de MERRA2 (líneas)

Cuadro 1: Coeficientes de correlación (r) y error cuadrático medio (ECM) entre series de velocidad observadas y derivadas de MERRA2

	Rawson	Trelew	Madryn	Villalonga	Pomona	Necochea
r	0.86	0.62	0.8	0.83	0.94	0.93
ECM	1.5	0.5	0.36	0.4	0.3	0.26

Cuadro 2: Viento P50 y promedios observacionales (GENNEIA), promedios derivados de MERRA2 durante el período 1980-presente, y extrapolación de valores P50 al período 1980-2021.

parque	P50	observ.	MERRA2 1980-2021	P50 1980-2021	período medición P50
PECHN I	9.10	9.02	8.94	+0.1 %	04/19/2012-07/31/2017
PECHN II	9.08	8.35	"	+0.1 %	04/19/2012-07/31/2017
PECHN III	9.12	8.08	"	+0.1 %	04/19/2012-07/31/2017
PECHN IV	9.12	8.47	"	+0.1 %	04/19/2012-07/31/2017
PEM I	9.20	8.70	"	+1.2 %	10/2008-09/01/2016
PEM II	9.00	8.62	"	+1.2 %	10/2008-09/01/2016
PENEC	8.64	8.52	8.16	+1.7 %	03/24/2012-08/15/2013
PEPOM I	8.30	7.50	7.92	-3.5 %	11/01/2014-05/01/2016
PEPOM II	8.38	7.86	"	-2.6 %	27/11/2014-09/01/2017
PER I	8.20	7.45	8.83	+5.1 %	10/01/2008-07/01/2010
PER II	8.20	7.51	"	+5.1 %	10/01/2008-07/01/2010
PER III	8.30	8.13	"	+2.0 %	07/29/2014-10/31/2015
PET	9.00	9.05	8.92	+2.1 %	11/01/2013-08/31/2015
PEVIL I	8.90	8.56	8.17	-0.7 %	06/01/2012-05/01/2016
PEVIL II	8.75	8.43	"	-1 %	06/06/2012-09/01/2017

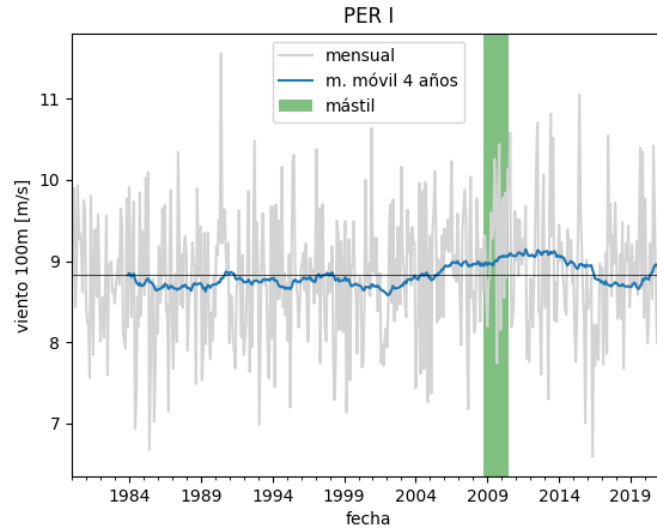


Figura 3: Promedios mensuales de viento a 100m derivados de merra, para el píxel cercano al parque Rawson. Sobre los datos graficamos la media móvil de 4 años y sombreamos el período de medición con mástiles (dato P50). El valor medio calculado en este período es 5.1 % mayor que la media total.

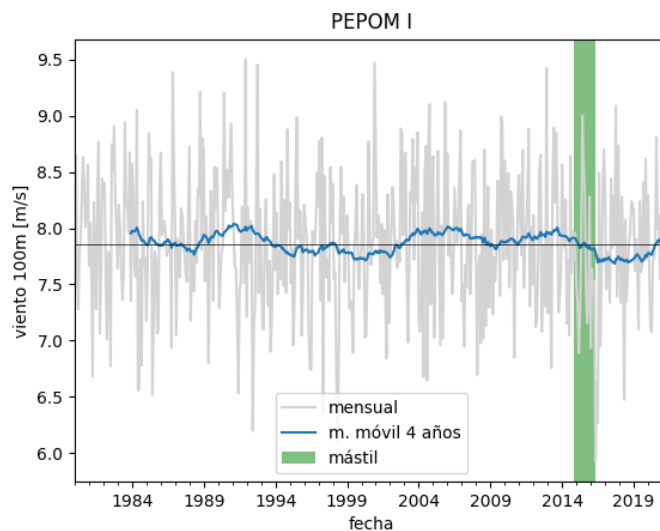


Figura 4: Promedios mensuales de viento a 100m derivados de merra, para el píxel cercano al parque Pomona. Sobre los datos graficamos la media móvil de 4 años y sombreamos el período de medición con mástiles (dato P50). El valor medio calculado en este período es 3.5 % menor que la media total.

Para el estudio de las causas de la merma del recurso eólico registrada entre finales del año 2020 y mediados del 2021 se analizaron las marchas de velocidad del viento conjuntamente con las variaciones en diferentes índices de variaciones climáticas que afectan a la región de interés. Los índices climáticos analizados son:

- índice de Oscilación del Sur (SOI). Da cuenta de la componente atmosférica del fenómeno Niño/Niña.
- Niño 3.4. Indica las anomalías de temperatura superficial del mar promediadas entre 5°N-5°S, 170°O-120°O
- TSA (Tropical-South Atlantic). Indica las anomalías de temperatura superficial del mar promediadas entre 0°-20°S, 10°E-30°O
- Oscilación Antártica (AAO). Da cuenta de variaciones en las anomalías de presión atmosférica entre latitudes medias y altas.
- Blob, o "La Mancha del Pacífico". Indica las anomalías de temperatura superficial del mar promediadas entre 33°S-40°S, 152°O-162°O

Con el objetivo de comprender la circulación atmosférica y la situación climática durante el período 11/20-07/21, se analizaron los campos de anomalías en el hemisferio sur de temperaturas superficiales del mar (de la base de datos [ERSST v5](#) y la presión atmosférica en superficie.

Se realizó luego un análisis retrospectivo para caracterizar eventos similares ocurridos en el pasado. Se definieron los eventos de merma como los casos en los que la velocidad del viento se encuentra dentro del 20-percentil más bajo de la distribución. Se calcularon las duraciones promedio de estos eventos así como las duraciones promedio de los períodos entre eventos.

Se implementaron varias metodologías para la elaboración de perspectivas para el recurso eólico para el período 08/2021 - 12/2022. Cada una de estas metodologías presenta un horizonte temporal diferente. La primera aproximación (1) consta en explorar relaciones estadísticas entre las series de velocidad del viento en los diferentes sitios y los índices climáticos anteriormente descriptos. Algunos de estos índices, los que están basados en anomalías de temperaturas del mar (Niño 3.4, TSA, blob) tienen cierto grado de predictibilidad en la escala estacional. Existen pronósticos de temperaturas del mar hasta el trimestre FMA del año 2022 disponibles en la web. La segunda aproximación (2), al no tener información de forzantes externos que tengan influencia en la velocidad del viento más allá de abril de 2022, se basa en pronosticar el comportamiento futuro basándose en el comportamiento pasado de las series de viento. Se implementó un modelo autorregresivo, el SARIMA (Seasonal Autorregresive Integrated Moving Average), ajustando los parámetros en cada caso de acuerdo a los gráficos de autocorrelación y autocorrelación parcial. Cabe destacar que el desempeño de los modelos

autorregresivos está condicionado por las características de la serie que se trate. Este es mejor cuando se trata de series con altos valores de autocorrelación. Se utilizaron (3) las salidas de modelos del pronóstico estacional del **Centro Europeo para el Pronóstico Meteorológico de Mediano Plazo**. Los modelos utilizados fueron el ECMWF, el UK Met Office, y el NCEP. Estos modelos pronostican anomalías de velocidad del viento a 10 metros de altura a paso mensual hasta el mes de marzo. La resolución espacial de estos modelos es de 1° de latitud y longitud, con lo cual no es posible discriminar los sitios Rawson, Trelew y Madryn, si no que son agrupados en 1 punto de grilla. Con el objetivo de realizar inferencias sobre la evolución de las velocidades del viento para el segmento del año 2022 (no cubierto por los pronósticos ECMWF) se calcularon, para cada sitio, las correlaciones entre los promedios de velocidad del viento mensuales, bimensuales y trimestrales vs. los promedios anuales.

3. Merma 2020-2021

La figura 5 muestra las series de variaciones porcentuales mensuales, anuales promedio y mensuales promedio de todos los sitios. Se puede observar que entre fines del año 2020 (noviembre aproximadamente), y mediados del 2021 se observó una merma generalizada de la velocidad del viento en todos los sitios eólicos. A nivel anual esta merma sería del 5%, aunque hay que tener en cuenta que el promedio del corriente año es un promedio parcial. Estas mermas se detallan y se comparan con los valores mínimos históricos en la figura 6. Los parques ubicados en Patagonia Norte (Madryn, Rawson y Trelew), registraron los menores valores de velocidad del viento en noviembre, enero y abril. Los meses restantes muestran recuperaciones a valores cercanos a los promedios. Para los casos de Villalonga, Pomona y Necochea, los valores más bajos se registraron durante el período comprendido entre los meses de febrero y abril, alcanzando Villalonga el valor mínimo histórico en marzo y Pomona en Abril. Para los meses subsiguientes se observa una recuperación hacia valores en torno al promedio, incluso superándolo ampliamente en el mes de mayo en el caso de Necochea. En la figura 5 se puede apreciar que el comportamiento del viento presenta, en promedio, ciclos anuales: Todos los sitios menos Pomona muestran una tendencia a vientos más débiles durante las estaciones de otoño y primavera, y vientos más fuertes en invierno y en verano. Pomona, en cambio, presenta velocidades de viento mínimas (-5%) y máximas en el verano (+5%). Estos ciclos anuales no se presentan con regularidad todos los años, pero esta estacionalidad puede en parte explicar la merma en el trimestre de otoño del 2021.

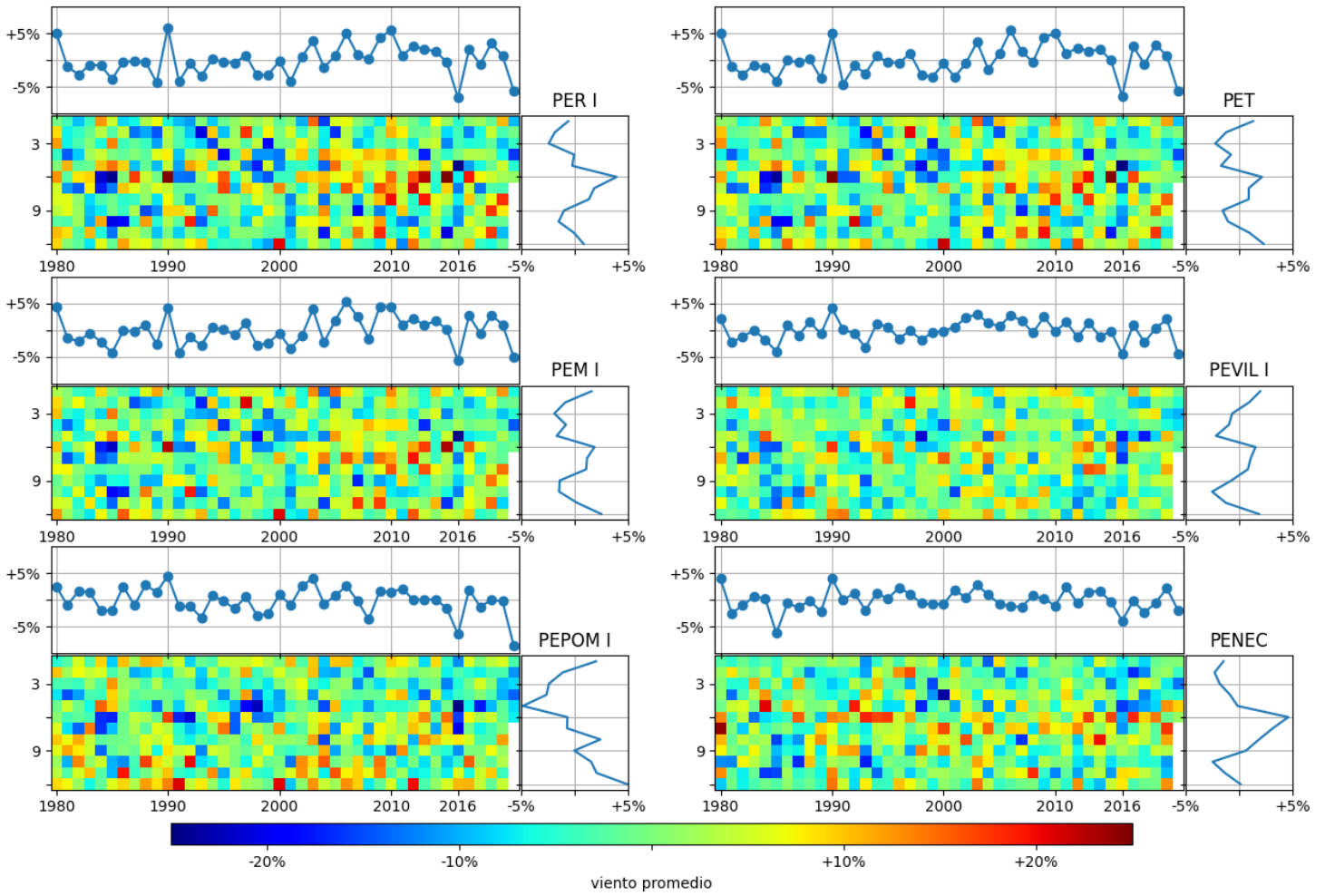


Figura 5: Variaciones de velocidad del viento mensuales, promedios anuales y mensuales promedio durante el período 1980-2021

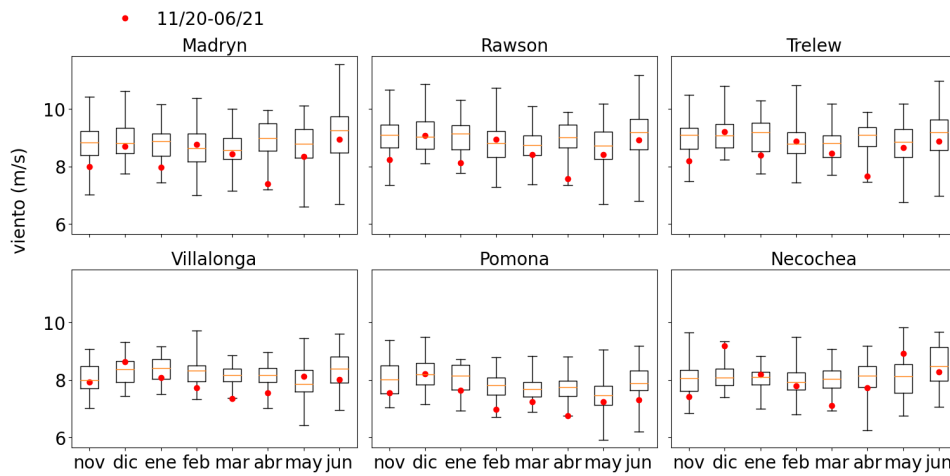


Figura 6: Diagramas de caja de las velocidades del viento mensuales durante el período 1980 - 2020, y velocidades del viento en el período 11/2020 - 07/2021 (puntos rojos)

Parte de la variabilidad climática se debe a variaciones atmosféricas y oceánicas de gran escala. Estas variaciones se monitorean a partir de índices numéricos. La figura 7 muestra la evolución de los índices climáticos en el período 1980-2021. Los índices oceánicos (niño 3.4, tsa y blob) cambian de fase en períodos largos (de alrededor de un año o mayores). El soi, a pesar de ser un índice atmosférico, esta fuertemente asociado a la variabilidad oceánica y muestra el mismo comportamiento. La Oscilación Antártica es una oscilación puramente atmosférica y muestra, además de una tendencia hacia la fase positiva en los últimos años, una gran variabilidad de alta frecuencia o "mes a mes". Este es un comportamiento similar al observado en las series de velocidad del viento (figura 5).

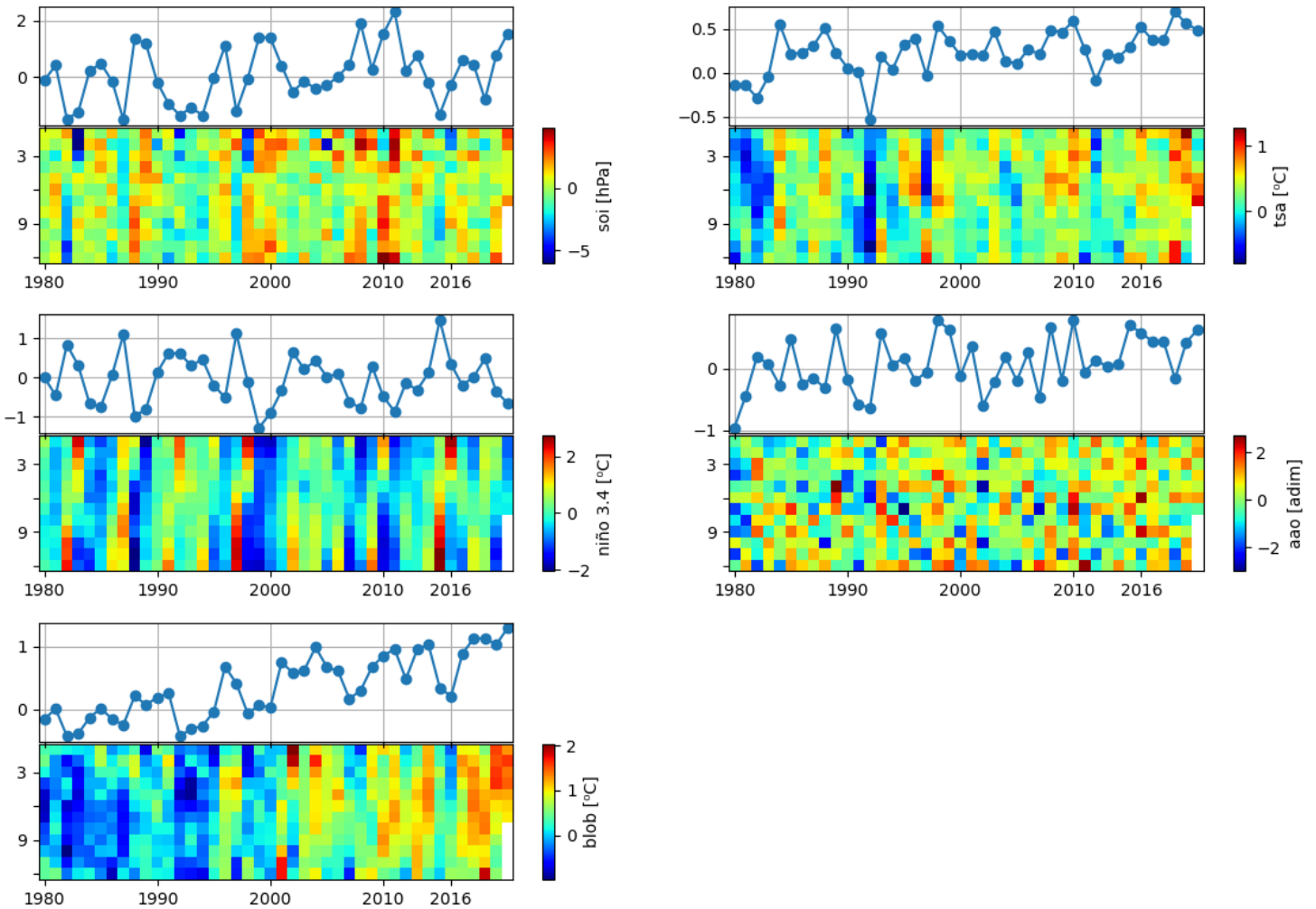


Figura 7: Variaciones mensuales y anuales y mensuales de diferentes índices climáticos durante el período 11/20-07/2021

El contexto de circulación de gran escala y estado climático en el que se desarrolló la merma de vientos presenta algunas singularidades. En la figura 8 se muestran las evoluciones de los índices climáticos durante el período 11/20 - 07/21. La Oscilación Antártica se mantuvo en valores muy altos durante casi todo el período, especialmente durante los primeros cuatro meses (marcando un récord en el mes de febrero para el período 1980-2021). Luego mostró valores un tanto más bajos en los meses subsiguientes, pero en general positivos. En cuanto a la oscilación Niño (índices *soi* y *niño3.4*), se observaron condiciones Niña durante casi todo el período, también con mas intensidad durante los primeron cuatro meses. Y luego una evolución hacia condiciones de Niña débil y neutrales para los meses siguientes. Las

anomalías de temperaturas del mar en la región de "la mancha" del Pacífico se mantuvieron muy altas durante el período, marcando un récord para el mes de enero (figuras 8 y 9), mientras que en el Atlántico tropical (índice *tsa*) las anomalías de temperatura se mantuvieron por debajo de la media hasta el mes de abril, y luego superándola e incluso marcando un récord para los meses de junio y julio.

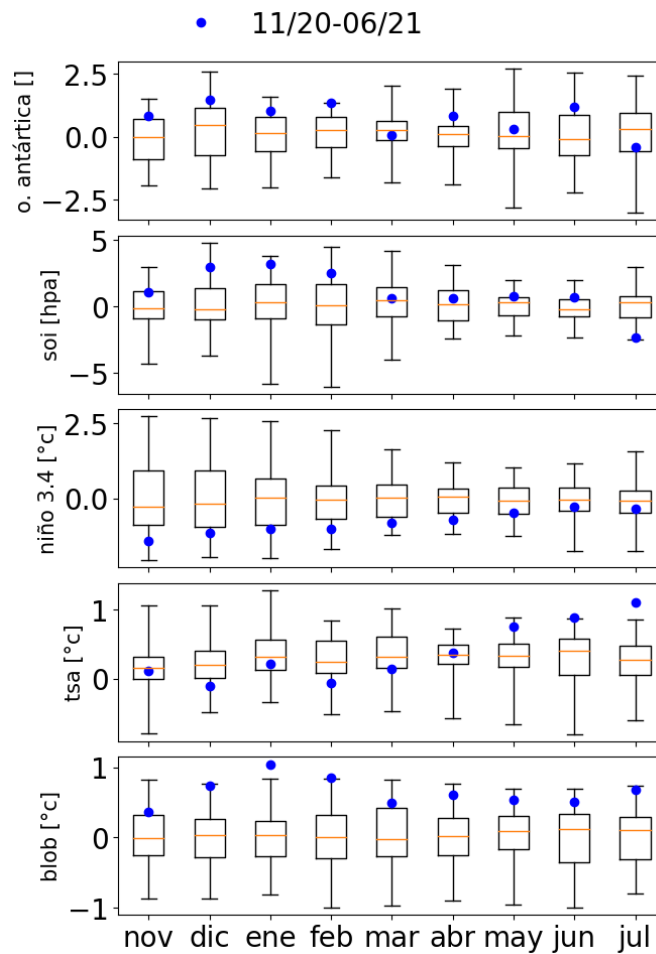


Figura 8: Diagramas de caja de los diferentes índices climáticos mensuales durante el período 1980-2020, y durante el período 11/2020-07/2021 (puntos azules)

Las figuras 9 y 10 muestran los mapas de anomalías de temperatura superficial del mar y presión atmosférica a nivel del mar, respectivamente. En la primera figura se pueden observar las anomalías ya descritas anteriormente: condiciones frías en el Pacífico tropical central (o condiciones Niña), cálidas en la región de "la mancha" (al Este de Nueva Zelanda), y también cálidas

en el Atlántico tropical hacia el final del período. Los mapas de anomalías de presión atmosférica permiten relacionar directamente las condiciones de contexto climático de gran escala con las variaciones del recurso eólico a escala local. Durante todo el período 11/20 - 07/21 se observan anomalías positivas de presión (esto es: presiones por encima del promedio) sobre el centro y sur de la Argentina. La configuración de anomalías de presión a escala hemisférica es consistente con el patrón característico de la fase positiva de la Oscilación Antártica entre los meses 11/20 y 03/21. Esto es: anomalías de presión positivas en latitudes medias (30°S - 60°S), y negativas en latitudes altas (menores a 60°S). Durante marzo y abril parece ocurrir una transición hacia otro patrón de circulación, en el cual se establece una anomalía negativa de presión sobre el mar de Amundsen-Bellinghousen (al Este de la Península Antártica), y anomalías positivas en las regiones circundantes (incluido el centro y sur de la Argentina). De acuerdo a [4], este patrón de circulación atmosférica podría estar forzado por las anomalías cálidas de temperatura del mar en la región de "la mancha", que se pueden observar en la figura 9.

Anomalías de temperatura del mar

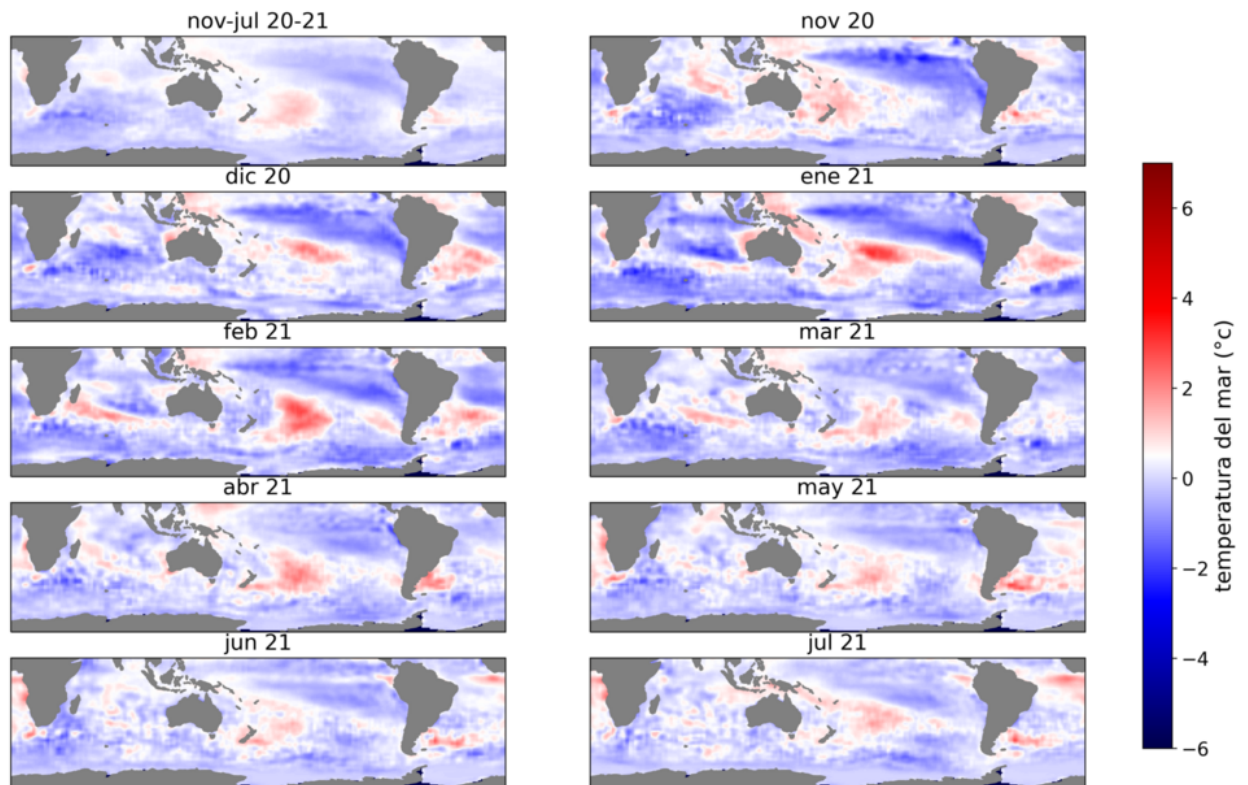


Figura 9: Anomalías de temperaturas superficiales del mar durante el período 11/2020-07/2021

Anomalías de presión a nivel del mar

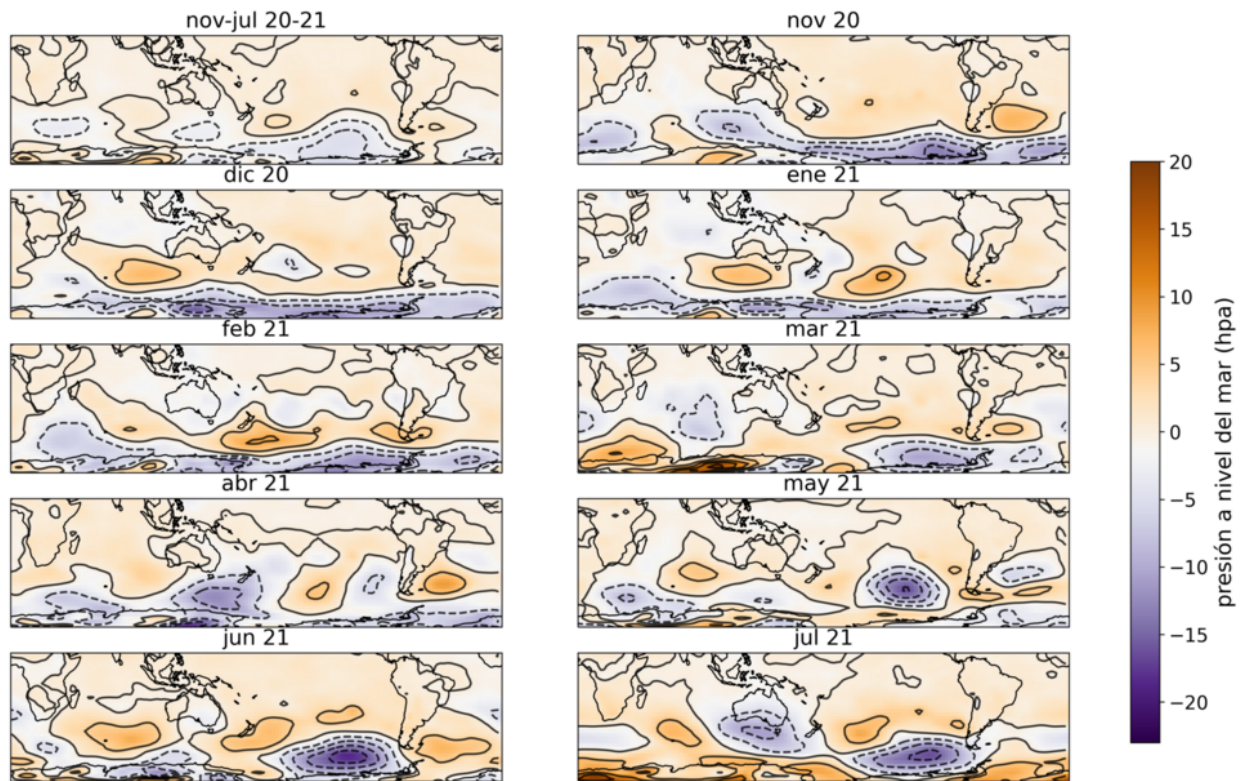


Figura 10: Anomalías de presión atmosférica durante el período 11/2020-07/2021

4. Estadísticas de eventos previos

La figura 11 muestra la ocurrencia de eventos de merma definidos utilizando el 20-percentil más bajo de la distribución. En todos los casos se puede observar que las velocidades del viento se han recuperado, alcanzando o superando el viento promedio en Rawson, Madryn y Necochea. Pomona, si bien muestra también una recuperación, no ha superado el límite y para el mes de junio ya sumaba 5 meses de merma. La tabla 3 muestra estadísticas de estos vientos: el período de recuperación promedio, definido como la cantidad de meses a partir de los cuales se iguala o supera el viento medio luego de haber ingresado en un evento de merma; y el período promedio entre eventos de merma.

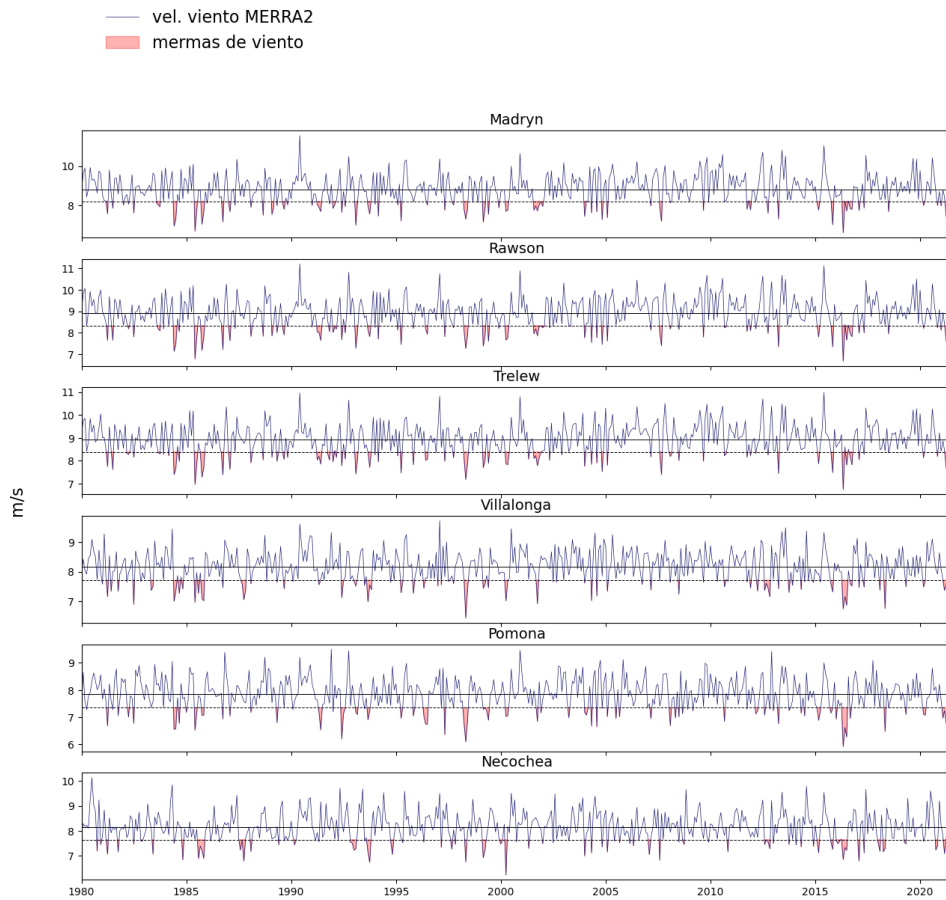


Figura 11: Mermas de viento utilizando como límite el 20-percentil más bajo de la distribución de las series mensuales de velocidad del viento. La línea negra horizontal llena indica la velocidad del viento media, y la punteada el límite del 20-percentil inferior

Cuadro 3: Período promedio de recuperación ($\Delta t R$) y período promedio entre eventos ($\Delta t E$) (meses)

	Rawson	Trelew	Madryn	Villalonga	Pomona	Necochea
$\Delta t R$	2.2	2.08	2.47	2.33	2.46	2.16
$\Delta t E$	5.36	4.81	5.48	5.21	5.74	5.33

La velocidad del viento, como se puede observar en la figura 5, presenta una gran variabilidad de un mes a otro. Por este motivo, definir un eventos de merma sin tener en cuenta esta gran variabilidad puede acarrear el problema de que se confunda una recuperación momentanea con una recuperación

definitiva. Es interesante observar los ciclos ocultos tras el ruido de alta frecuencia. Así, se repitió el procedimiento previo cálculo de promedios móviles de 3 meses a las series originales de velocidad de viento. Los resultados se muestran en la figura 12 y las estadísticas de los eventos de merma se muestran en la tabla 4. Según este esquema, los eventos de merma tienen una duración media de entre 5 y 6 meses. Madryn y Rawson ya llevan 7 meses sin igualar o superar el viento promedio, Trelew y Villalonga 4, Pomona 6 y Necochea ya superó el viento promedio.

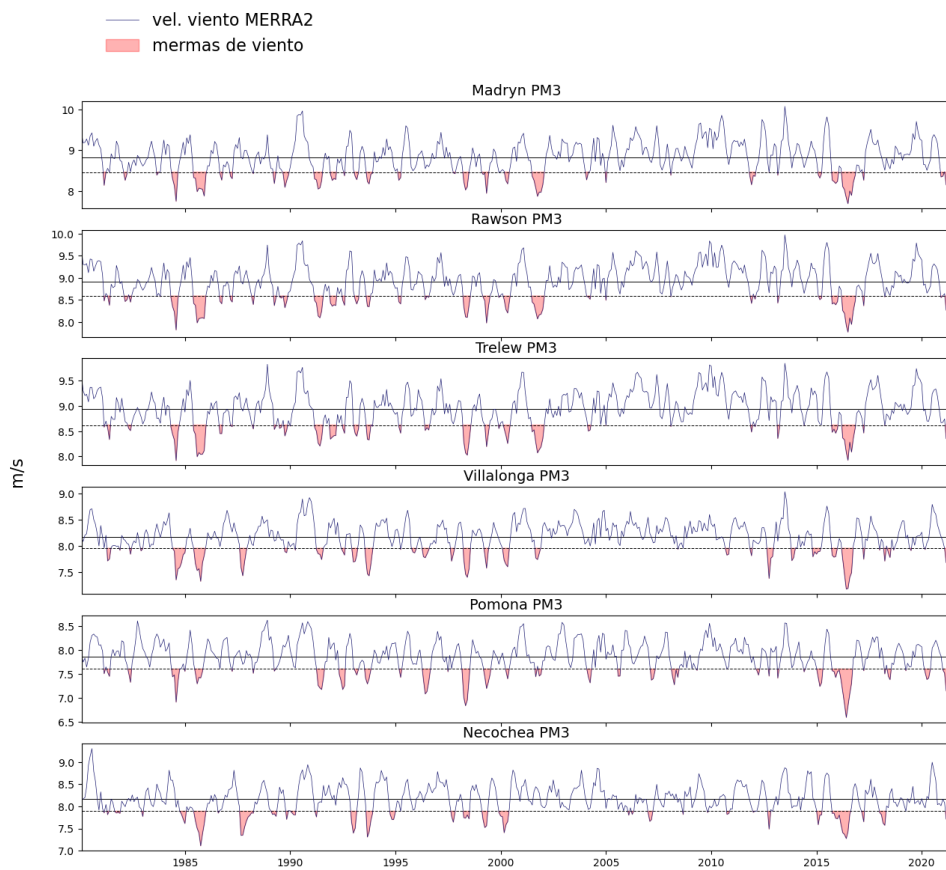


Figura 12: Mermas de viento utilizando como límite el 20-percentil más bajo de la distribución de los promedios móviles de 3 meses de las series mensuales de velocidad del viento. La línea negra horizontal llena indica la velocidad del viento media, y la punteada el límite del 20-percentil inferior

Cuadro 4: Período promedio de recuperación ($\Delta t R$) y período promedio entre eventos ($\Delta t E$) (meses)

	Rawson	Trelew	Madryn	Villalonga	Pomona	Necochea
$\Delta t R$	5.88	5.88	5.15	5.06	4.58	5.28
$\Delta t E$	10.4	10.72	12.61	10.08	10.45	12.58

5. Perspectivas 2021/2022

5.1. Pronósticos estacionales ECMWF

La figura 13 muestra los pronósticos de anomalías de velocidad de viento a 10 metros de altura promedio de los ensambles de los modelos **ECMWF**, **NCEP**, **MeteoFrance** y **MetOffice**, con condiciones iniciales de septiembre 2021 (roja) y 2020 (azul). Antes de describir la evolución de estos pronósticos es necesario hacer una consideración. Los valores de anomalías pronosticadas que se observan en el gráfico no son corridas individuales de los modelos, si no que son promedios de un número muy grande de corridas (entre 50 y 150) para cada modelo. Cada uno de esos bloques de muchas corridas se denomina “ensamble”. Por este motivo es mucho menor el rango de variabilidad de los pronósticos.

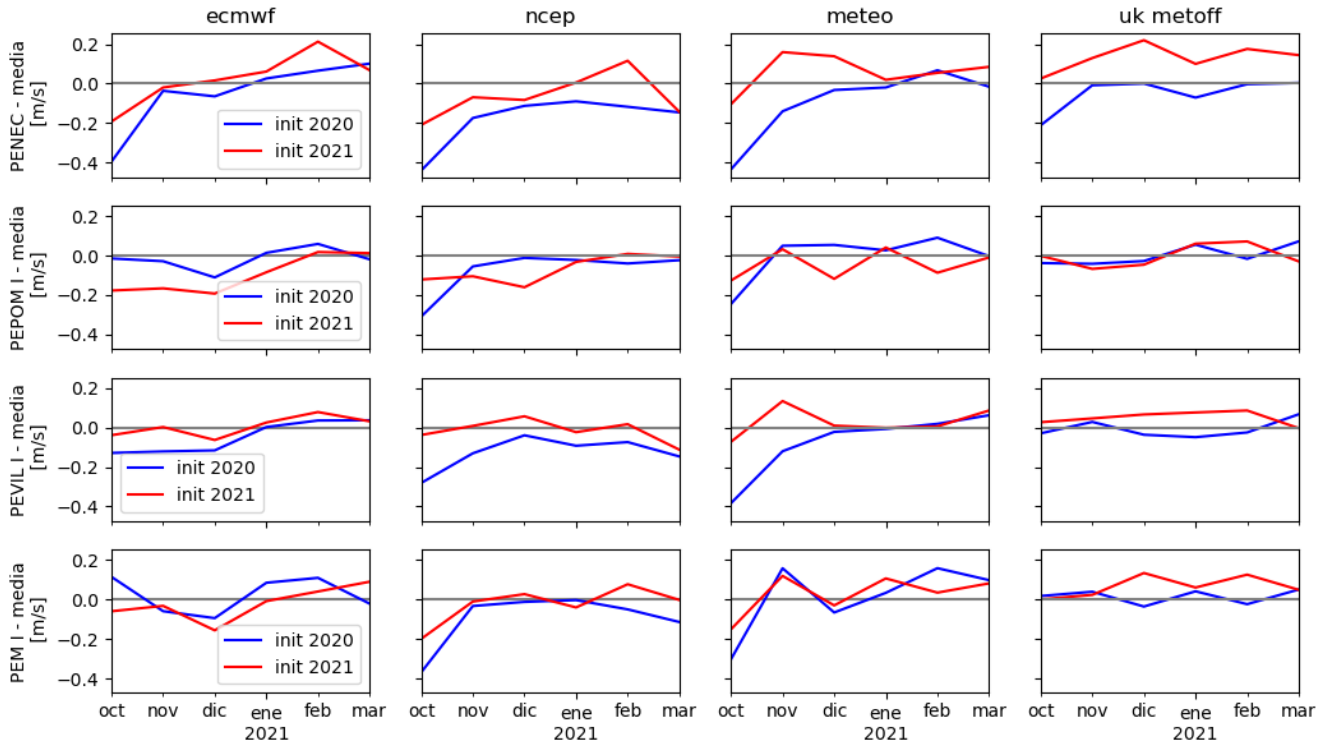


Figura 13: Pronósticos de anomalías de viento a 10 metros de altura promedio de ensambles de simulaciones de los modelos **ECMWF**, **NCEP**, **MeteoFrance** y **MetOffice**

En la figura 14 se resumen los resultados de los pronósticos para el período 10/2021 - 03/2022 y se comparan con los resultados de los pronósticos inicializados el año 2020. Los pronósticos inicializados el presente año muestran igual probabilidad de ocurrencia de anomalías positivas que negativas, lo cual es un escenario más favorable que el pronosticado el año anterior: 70% de probabilidad de anomalías negativas. En la figura 15 se comparan los resultados de los pronósticos en el trimestre enero-febrero-marzo. El motivo de observar este trimestre es que los vientos promediados en este muestran una mayor correlación con los promedios anuales (figura 16). Para el trimestre enero-febrero-marzo, los pronósticos inicializados el año 2020 indican igual probabilidad de anomalías positivas y negativas; mientras que el 75% de los pronósticos inicializados el presente año muestran anomalías positivas. Notar que esto no significa que las chances de que el trimestre sea bueno sean 75%, habría que analizar la dispersión de los ensambles en

todos los modelos. Esta dispersión es esperable que sea al menos un orden de magnitud mayor al promedio de los ensambles, y de este modo las chances serían del orden de 50 %.

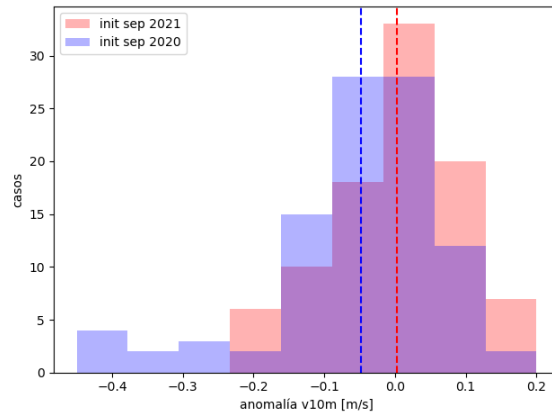


Figura 14: Comparación de todos los valores de la figura 13. Las condiciones iniciales utilizadas en los modelos de este año preveen un semestre más ventoso en comparación con las de septiembre 2020.

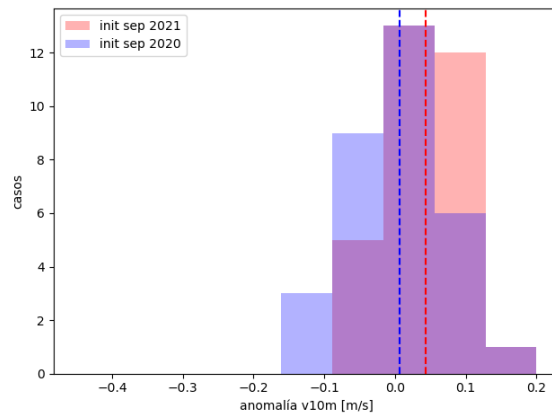


Figura 15: Comparación de todos los valores de la figura 13 para los meses **enero, febrero y marzo**. En este caso pronósticos actuales también muestran una mejora con las condiciones iniciales de septiembre 2021, y además muestran una media de la anomalía positiva

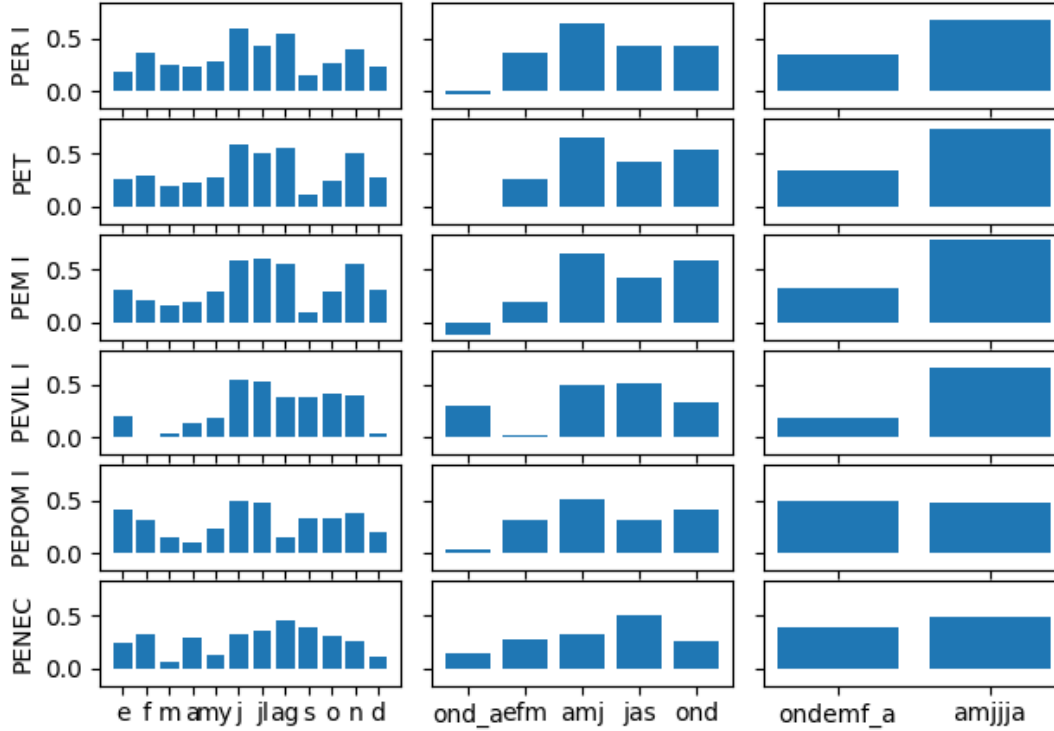


Figura 16: Correlaciones entre promedios de velocidad del viento mensuales (columna izquierda), trimestrales (columna central), y semestrales (columna derecha) vs. promedios anuales del año calendario

Con estos resultados se puede inferir la probabilidad del resultado anual en base a las correlaciones entre el año calendario y el trimestre efm. Esta probabilidad viene dada por la ecuación

$$P(año^+) = P(año^+|efm^+) * P(efm^+) + P(año^+|efm^-) * P(efm^-) \quad (1)$$

Calculamos ahora las probabilidades condicionales utilizando las series de merra. La probabilidad de ocurrencia de 1 año con anomalías positivas de velocidad del viento dada la ocurrencia de anomalías positivas en el trimestre enero-febrero-marzo del mismo año se calcula como:

$$P(año^+|efm^+) = \frac{\#años^+ \& efm^+}{\#efm^+} \quad (2)$$

Esto es: la probabilidad de ocurrencia de un año positivo dada la ocurrencia de un trimestre efm positivo es igual a la cantidad de casos de ocurrencia

conjunta de años y trimestres efm positivos, dividido por la ocurrencia total de trimestres efm positivos. De acuerdo a la figura 17 y a la tabla 5, estos valores son:

- # años⁺ & efm⁺ = 66
- # efm⁺ = 66 + 36 = 102
- # efm⁻ = 53 + 91 = 144

Con lo cual la probabilidad de tener un año bueno dado un trimestre bueno es 65%, mientras que la probabilidad de tener un año bueno dado un trimestre malo es 37%

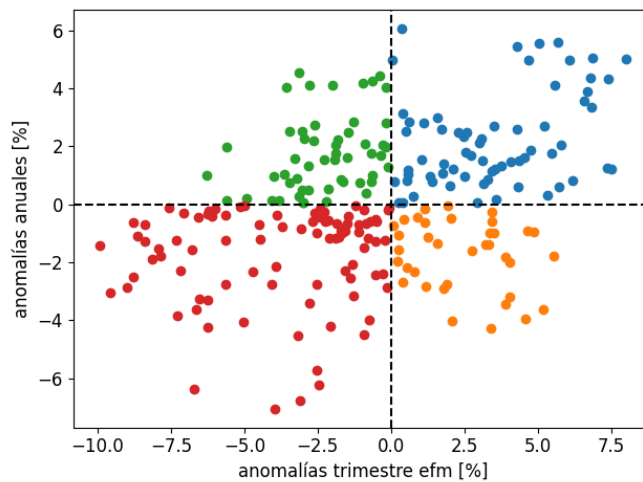


Figura 17: Diagrama de dispersión entre anomalías anuales y del trimestre efm para todos los sitios

Cuadro 5: Tabla de contingencia de anomalías de viento anuales y del trimestre efm

	año ⁺	año ⁻
efm ⁺	66	36
efm ⁻	53	91

Volviendo a la ecuación 1 la probabilidad de que el año sea bueno es $P(año^+) = 0.65 \cdot 0.75 + 0.37 \cdot 0.25 = 0.58$, o dicho de otro modo los pronósticos combinados con las correlaciones intraanuales de las series de reanálisis indican un año bueno con un 58% de probabilidad.

Referencias

- [1] Iain Staffell and Richard Green. How does wind farm performance decline with age? *Renewable energy*, 66:775–786, 2014.
- [2] Iain Staffell and Stefan Pfenninger. Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output. *Energy*, 114:1224–1239, 2016.
- [3] Emilio Bianchi, Andrés Solarte, and Tomás Guozden. Spatiotemporal variability of the wind power resource in argentina and uruguay. *Wind Energy*, 22(8):1086–1100, 2019.
- [4] René D Garreaud, Kyle Clem, and José Vicencio Veloso. The south pacific pressure trend dipole and the southern blob. *Journal of Climate*, 34(18):7661–7676, 2021.