

Evolución y pronóstico del recurso eólico en parques GENNEIA - septiembre 2022

Tomás Guozden y Emilio Bianchi

1. Resumen ejecutivo

En el presente informe:

- Se actualiza el análisis de la evolución del recurso eólico en los parques GENNEIA y los forzantes climáticos actuantes hasta el mes de agosto de 2022
- Se pronostica la evolución del recurso hasta finales del corriente año (2022), el resultado para el primer bimestre 2023 y para todo el 2023.

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. Resumen ejecutivo | 1 |
| 2. Metodología | 1 |
| 2.1. Datos | 1 |
| 2.2. Pronósticos | 2 |
| 3. Análisis de la dispersión de los sitios | 3 |
| 3.1. Variabilidad intra e interanual de los reanálisis | 5 |
| 4. Comparación período enero - agosto 2022 con histórico | 6 |
| 5. Evolución del recurso y entorno climático | 7 |
| 6. Pronósticos a mediano plazo | 10 |
| 6.1. Condiciones NIÑA | 10 |
| 6.1.1. trimestre OND 2022 | 12 |
| 6.1.2. trimestre EFM 2023 | 13 |
| 6.2. Modelos climáticos del Centro Europeo | 15 |
| 6.3. Influencia del agujero de OZONO | 17 |

2. Metodología

2.1. Datos

Para analizar la evolución del recurso eólico en los últimos meses se trabajó con promedios diarios de velocidad del viento de los parques GENNEIA. Estos valores se compararon con valores mensuales de velocidad del viento derivados del reanálisis **MERRA2** del punto de grilla más cercano a cada parque.

La resolución espacial de estos datos reanálisis (0.5° latitud x 0.625° longitud) permite discriminar los parques en 6 sitios: Puerto Madryn, Rawson, Trelew, Villalonga, Pomona y Necochea. En la figura 1 Mostarmos los valores mensuales medidos en contraste con el reanálisis. Los mismos fueron reescalados para coincidir en valor cuadrático medio con un representante de cada sector: PEM I, PER I, PET, PEVIL I, PEPOM I y PENEK.

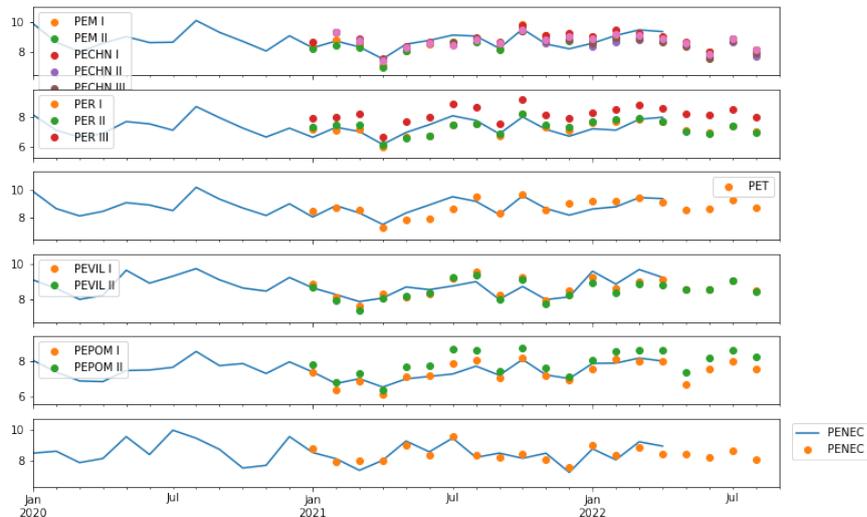


Figura 1:

Valores mensuales medidos contrastados con los reanálisis. La resolución espacial de estos datos reanálisis permite discriminar los parques en 6 sitios: Puerto Madryn, Rawson, Trelew, Villalonga, Pomona y Necochea.

Los datos de reanálisis fueron reescalados para coincidir en valor cuadrático medio con un representante de cada sector: PEM I, PER I, PET, PEVIL I, PEPOM I y PENEK. De este modo contamos con una más de 40 valores de cada mes para evaluaciones estadísticas.

2.2. Pronósticos

Para el pronóstico a mediano plazo del recurso: 1) se analizaron los pronósticos del fenómeno El Niño (que incluyen los primeros meses del año 2023), y que ejercen cierta influencia en el recurso eólico; y 2) se utilizaron las salidas de modelos del pronóstico estacional del [Centro Europeo para el Pronóstico Meteorológico de Mediano Plazo](#). Los modelos utilizados fueron el modelo europeo (ECMWF), el del Reino Unido (UK Met Office), el del

Centro de Predicción Ambiental de EEUU (NCEP), y el de la Agencia Meteorológica de Francia (Meteofrance). Estos modelos pronostican anomalías de velocidad del viento a 10 metros de altura a paso mensual hasta el mes de febrero de 2023. La resolución espacial de estos modelos es de 1° de latitud y longitud, con lo cual discriminamos los parques en cuatro sitios: Necochea, Chubut, Villalonga y Pomona. Además, se exploró otra variable predictora del recurso eólico que es la intensidad y extensión del agujero de ozono.

3. Análisis de la dispersión de los sitios

En el cuadro 1 comparamos valores esperados de producción de energía con velocidades medias de viento. De los valores reportados de energía observamos una distancia relativa de los P75 y P90 al P50 mayor para Trelew y Pomona I, lo cual muestra que el histograma de energía para estos sitios tiene una dispersión relativa al valor medio mayor que en los demás. Usando estos valores ajustamos el coeficiente de variación para cada parque, el cual está definido como desviación estándar sobre valor medio:

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (1)$$

Para ello usamos los valores P75 y P90 para ajustar la función de probabilidad acumulada de una gaussiana, centrada en P50, como mostramos en la figura 2:

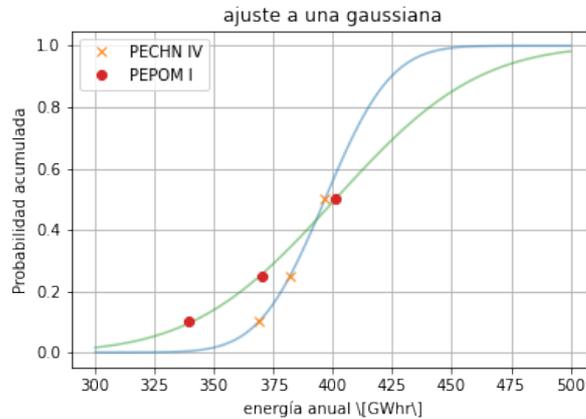


Figura 2: Ajuste de la función de probabilidad acumulada de una gaussiana, centrada en P50 a partir de los valores P75 y P90. Datos de la tabla 1. El ajuste da un coeficiente de variación de 5.5% para el parque de Chubut y 11.7% para el de Pomona.

Como resultado obtenemos la dispersión σ de los datos. Dividiendo a este valor el P50 (valor medio de los datos) obtenemos el coeficiente de variación.

Los resultados muestran que los datos de energía RPE suponen una dispersión relativa para Trelew casi el doble que para el resto de los parques, y alrededor de un 25 % más para Pomona I.

Los valores de los reanálisis para estos sitios (ver figura 1) no muestran un coeficiente de variación mayor ni para Trelew ni Pomona. Tampoco se observa esta característica usando los datos de viento mensual medido en estos sitios, (20 meses desde enero 2021). Incluso las mediciones en Pomona I en este período están más concentradas que para Pomona II, lo que no es esperable encontrar en 20 datos con una distribución como la que supone RPE.

Aclaremos que en esta comparación se utilizaron datos de reanálisis, los cuáles no incorporan al modelo efectos de pequeña escala que puedan ocurrir en la zona de los parques.

Puede además que la diferencia tenga su explicación en la conversión de viento a potencia, la cual se está omitiendo en esta comparación. La no linealidad en la curva de potencia y la incidencia de la dirección del viento en el efecto estela podrían afectar a la distribución de potencia.

Esta aparente incompatibilidad podría resolverse analizando datos de velocidad y dirección de viento en un período más grande y convirtiendo a potencia, o simplemente analizando los datos disponibles de producción de energía.

Cuadro 1: Valores esperados de producción de energía con velocidades medias de viento. La mayor distancia relativa de los P75 y P90 al P50 mayor para Trelew y Pomona I, lo cual señala un mayor coeficiente de variación (definido como desviación estándar sobre valor medio) de los datos en estos sitios.

| parque | Detalle RPE [G] | | | C_V [%] | | |
|-----------|-----------------|-------|-------|-----------|-------|-----------|
| | P50 | P75 | P90 | RPE | MERRA | MED 21/22 |
| PEM I | 322.1 | 304.5 | 287.7 | 8.2 | 7.6 | 6.5 |
| PEM II | 666. | 628.4 | 592.7 | 8.5 | | 6.4 |
| PECHN I | 132.7 | 127.9 | 123.7 | 5.3 | | 5.9 |
| PECHN II | 123.8 | 120.8 | 114.2 | 4.6 | | 5.6 |
| PECHN III | 268.8 | 258.6 | 249.5 | 5.6 | | 5.8 |
| PECHN IV | 396.7 | 382. | 368.8 | 5.5 | | 5.7 |
| PER I | 180.3 | 172.2 | 158.4 | 8.0 | 8.5 | 6.7 |
| PER II | 108.4 | 103.6 | 97.8 | 7.1 | | 6.8 |
| PER III | 103.4 | 98.2 | 91.7 | 8.1 | | 6.7 |
| PET | 190.3 | 171.1 | 153.7 | 15.0 | 8.1 | 6.8 |
| PEVIL I | 229.1 | 220.3 | 212.1 | 5.7 | 6.6 | 6.0 |
| PEVIL II | 14.8 | 14.3 | 13.9 | 4.9 | | 6.2 |
| PEPOM I | 401.1 | 370. | 339.5 | 11.7 | 7.6 | 7.9 |
| PEPOM II | 46. | 44. | 42.2 | 6.4 | | 8.7 |
| PENEC | 153.5 | 147.5 | 142.1 | 5.8 | 7.4 | 5.5 |

3.1. Variabilidad intra e interanual de los reanálisis

Los datos de reanálisis permiten hacer promedios mensuales con buena estadística. En las figuras 3 a) y b) mostramos los promedios intra e interanual. En el Cuadro 2 comparamos la variabilidad de estas en estas dos escalas con la variabilidad total como se mostró en el cuadro 1.

Los datos dan una idea de cómo es la variación en cada caso: los parques Pomona y Necochea tienen una variación intranual más importante que el resto. En cuanto a la escala interanual (años distintos) Necochea y Villalonga son los que menos variabilidad presentan.

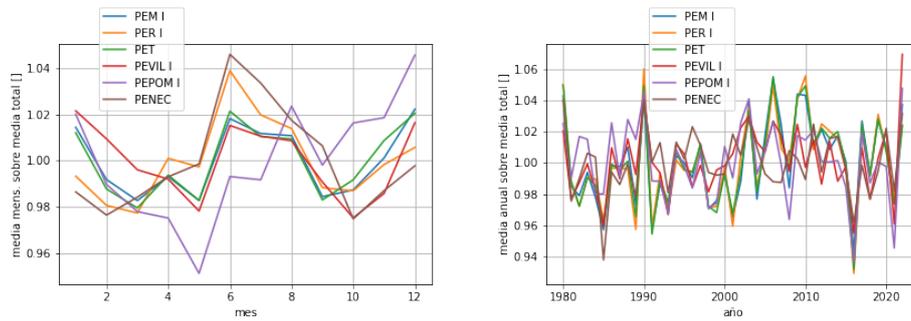


Figura 3: Promedios intra (a) e inter-anales (b) para los datos de reanálisis Merra correspondientes a cada parque. En casi todos los parques la variabilidad en el promedio intra-anual es mayor a la interanual salvo para Necochea. La variabilidad mensual total (aprox. 500 meses) es naturalmente mayor.

Cuadro 2: Coeficiente de variación para los valores de viento mensuales a partir de reanálisis. Primera columna ídem repite los valores del cuadro 1. Se calcula también el coeficiente de variación a partir de los datos promediados mensualmente (intra-anales) y anualmente (interanales).

| | C_V [%] | | |
|---------|-----------|---------------------|------------|
| | mensual | mensual intra-anual | interanual |
| PEM I | 7.6 | 1.5 | 2.7 |
| PER I | 8.5 | 1.8 | 2.9 |
| PET | 8.1 | 1.5 | 2.8 |
| PEVIL I | 6.6 | 1.6 | 2.2 |
| PEPOM I | 7.6 | 2.6 | 2.4 |
| PENECA | 7.4 | 2.2 | 2.0 |

4. Comparación período enero - agosto 2022 con histórico

Asumiendo que los reanálisis son representativos del lugar y que el ajuste de la figura 1 es correcto tenemos un período de más de 42 años con los cuáles contrastar el comportamiento del viento durante el presente año (2022). Los resultados muestran que, hasta agosto 2022, el año es en promedio bueno, excepto para Madryn, del cuál se observa una merma del 1 %

Aclaremos que se comparan los datos medidos con el promedio histórico enero-agosto.

Cuadro 3: Los resultados muestran un año en promedio bueno, excepto para Madryn, del cuál se observa una merma del 1 %

| parque | 2022 vs histórico mismo período |
|---------|---------------------------------|
| PEM I | -1 % |
| PER I | igual |
| PET | +2 % |
| PEVIL I | +1 % |
| PEPOM I | +2 % |
| PENEC | igual |

5. Evolución del recurso y entorno climático

La figura 4 muestra los diagramas de cajas y bigotes para los parques GEN-NEIA para el año 2022. A grandes rasgos, para todos los sitios excepto Pomona, se observó una evolución similar en los últimos 4 meses: El recurso estuvo en el entorno del promedio para el mes de mayo, luego disminuyó en el mes de junio (ubicándose por debajo del percentil del 25 en los sitios Madryn, Rawson y Necochea), se recuperó en el mes de julio, y volvió a disminuir en el mes de agosto (ubicándose por debajo del percentil del 25 en los sitios Madryn, Rawson y Necochea). En el sitio Villalonga se observó un aumento del recurso desde el mes de mayo, en que se encontraba por debajo del percentil 25, hasta el mes de julio (en el que superó el percentil 75); para ubicarse en el entorno del promedio en el mes de agosto.

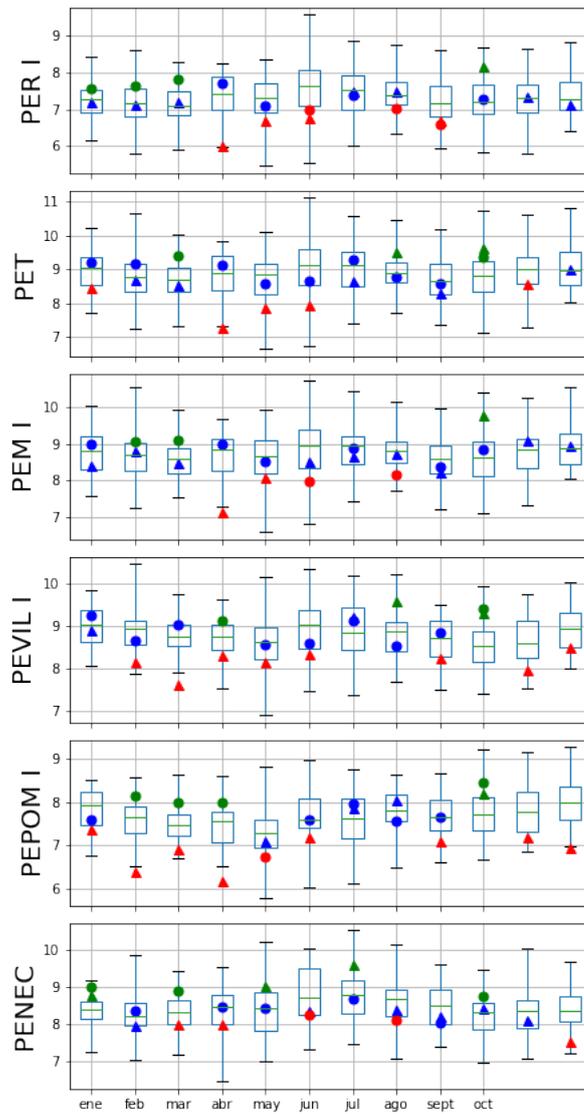


Figura 4: Diagramas de caja y bigotes de las distribuciones históricas de velocidades del viento mensuales durante el período 1980 - 2021 derivadas de MERRA2, y velocidades del viento observadas en el período 01/2022 - 08/2022 (puntos) y 2021 (triángulos). La línea verde representa el valor medio de la distribución, la caja azul el intervalo intercuartil (que comprende el 50 % de los valores); y los bigotes, los valores mínimos y máximos. Los puntos rojos representan los valores registrados en los parques GENNEIA inferiores al percentil 25, los puntos verdes representan los valores superiores al percentil 75

El entorno climático estuvo caracterizado por persistencia de la fase fría del fenómeno El Niño (condiciones Niña), que se refleja en el comportamiento de la atmósfera (índice SOI positivo, Figura 5). La Oscilación Antártica mostró un comportamiento más variable: valores entorno al promedio los meses de mayo y julio, un valor negativo el mes de junio, y positivo el mes de agosto; estos últimos dos registros por fuera del intervalo intercuartil.

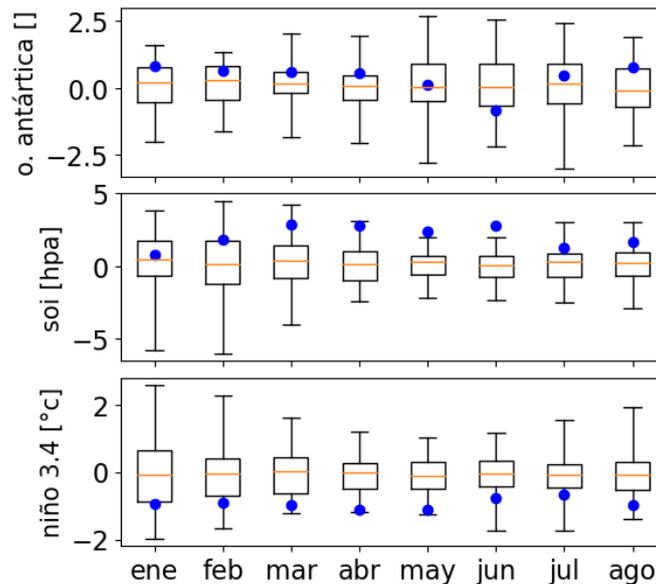


Figura 5: Diagramas de caja y bigotes de las distribuciones históricas de los índices climáticos Oscilación Antártica, Southern Oscillation Index (SOI) y Niño 3.4 La línea naranja representa el valor medio de la distribución, la caja negra el intervalo intercuartil (que comprende el 50 % de los valores); y los bogotes, los valores mínimos y máximos. Los puntos azules representan los valores observados en el período 01/22 - 08/22

En líneas generales, las condiciones Niña imperantes no se traducen en forma directa en una merma del recurso generalizada. Esto es consistente con la baja correlación que se ha encontrado con los índices de este fenómeno y el recurso que se han reportado en los informes anteriores. La influencia de este fenómeno es más bien esporádica y se da en combinación con otros factores como la Oscilación Antártica. Si se observan en detalle los meses de junio y agosto, que fueron los que mostraron menor recurso en la mayoría de los parques, en el mes de junio la merma puede ser atribuida a un valor extremo en el índice SOI (que es la componente atmosférica del fenómeno Niño/Niña). En la Figura 6 este patrón se observa como anomalías negativas de presión en zonas cercanas a la antártida y positivas en el sur de la Argentina. Notar que en este mes, la merma coincidió con un valor negativo

del índice de la Oscilación Antártica, lo que suele estar asociado a mayor recurso. La merma del mes de agosto, en cambio, coincidió con un valor positivo del índice SOI (aunque no tan intenso como en junio) con un valor también positivo de la Oscilación Antártica.

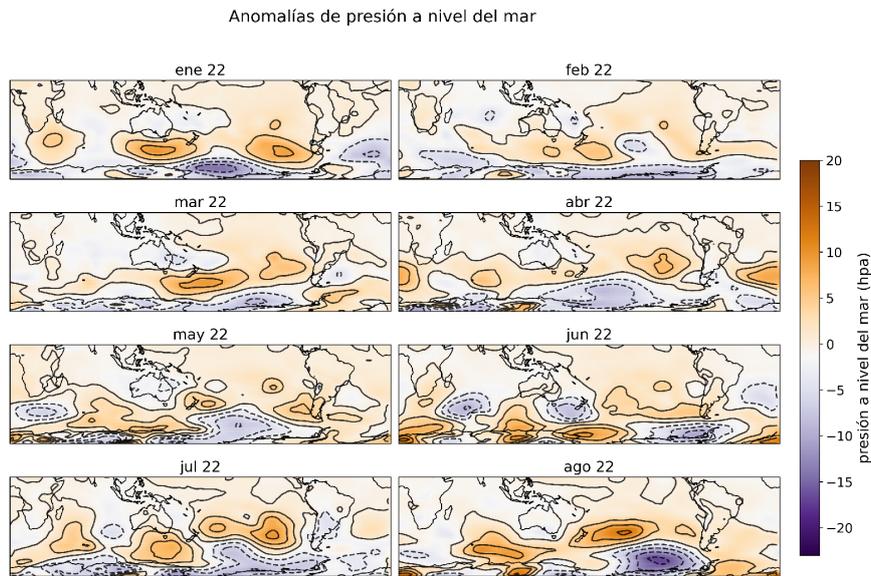


Figura 6: Anomalías de presión atmosférica durante el período 01/22-08/22. Las áreas azules indican presiones más bajas que lo normal, las naranjas presiones más altas que lo normal.

6. Pronósticos a mediano plazo

6.1. Condiciones NIÑA

Como se mencionó en la sección anterior, las condiciones frías en el océano Pacífico ecuatorial (Niña) pueden propiciar patrones de circulación atmosférica asociados a situaciones de menor recurso eólico en algunos de los sitios GENNEIA. El fenómeno El Niño/La Niña, al ser una oscilación de origen oceánico, es de evolución lenta y tiene cierto grado de previsibilidad estacional. Existen pronósticos a 3/4 trimestres de la evolución de este fenómeno. La figura 7 muestra los pronósticos de la **NOAA Climate Prediction Center** del índice Niño 3.4 (izquierda) y la probabilidad de que las condiciones sean Niño, neutrales o Niña (derecha, esta probabilidad esta asociada a las corridas de los diferentes modelos utilizados). En este caso, el promedio de los modelos está indicando condiciones Niña (índice Niño 3.4 menor a -0.5°C) para el trimestre EFM del año 2023 (panel izquierdo), con una probabilidad asociada del 54 % (panel derecho).

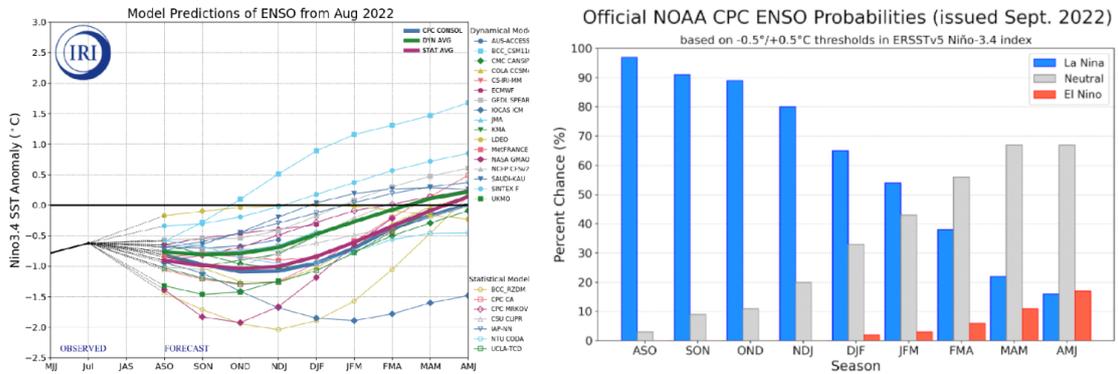


Figura 7: Pronóstico de temperaturas superficiales del mar para la region Niño 3.4 (izquierda). Probabilidades de condiciones Niño/neutral/Niña (derecha)

Considerando la posibilidad de que los valores extremos del indice Niño 3.4 esten asociados a una mayor o menor frecuencia de mermas de viento, se analizaron las tablas de contingencia para los trimestres OND y EFM (tablas 4 y 6) para todos los sitios eólicos considerando casos Niño, neutral y Niña y vientos por encima del percentil 75, por debajo del percentil 25, y entre estos dos percentiles. Recordemos que, por definición, un valor del índice Niño 3.4 superior a 0.5° se considera como evento Niño, un valor inferior a -0.5° se considera Niña, y entre -0.5° y 0.5° se considera como neutral.

6.1.1. trimestre OND 2022

Cuadro 4: Tablas de contingencia para los sitios PEMAD, PEVIL, PEPOM y PENECA entre eventos de recurso eólico superior, promedio e inferior (efm+, efm m y efm-, definidos como superiores al percentil 75, entre el percentil 25 y el 75, e inferiores al percentil 25), y condiciones Niño/neutral/Niña (definidos a partir del índice Niño 3.4) para el trimestre OND.

| | PEMAD | | | PEVIL | | |
|---------------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| | ONDd+ | OND m | OND- | OND+ | OND m | OND- |
| niño | 3 | 7 | 4 | 5 | 6 | 3 |
| neutro | 4 | 4 | 4 | 2 | 6 | 4 |
| niña | 4 | 9 | 3 | 4 | 8 | 4 |

| | PEPOM | | | PENECA | | |
|---------------|-------|-------|------|--------|-------|------|
| | OND+ | OND m | OND- | OND+ | OND m | OND- |
| niño | 4 | 8 | 2 | 3 | 8 | 3 |
| neutro | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 |
| niña | 4 | 7 | 5 | 5 | 8 | 3 |

A partir de la tabla de contingencia entre el recurso en el trimestre OND y los eventos Niño/neutrales/Niña (4), se puede calcular la probabilidad de tener un recurso superior al promedio (OND22+), en torno al promedio (OND22 m), e inferior al promedio (OND22-) utilizando las probabilidades condicionales:

Probabilidad de OND22+:

$$P(OND+) = P(OND+|niño)*P(niño)+P(OND+|neutral)*P(neutral)+P(OND+|niña)*P(niña) \quad (2)$$

Probabilidad de OND22 m:

$$P(ONDm) = P(ONDm|niño)*P(niño)+P(ONDm|neutral)*P(neutral)+P(ONDm|niña)*P(niña) \quad (3)$$

Probabilidad de OND22-:

$$P(OND-) = P(OND-|niño)*P(niño)+P(OND-|neutral)*P(neutral)+P(OND-|niña)*P(niña) \quad (4)$$

donde P(Niño), P(neutral) y P(Niña) son las probabilidades de ocurrencia de condiciones Niño, neutrales y Niña, y se obtienen de la figura 7. Estas probabilidades son 0, 0.11 y 0.89 respectivamente. Finalmente, las probabilidades para el trimestre OND 2022 se muestran en la tabla 5

Cuadro 5: Probabilidades de ocurrencia de velocidades de viento superiores al promedio (P(OND22+)), cercanas al promedio (P(OND22 m)), e inferiores al promedio (P(OND22-)) para los sitios PEMAD, PEVIL, PEPOM y PENEK en el trimestre OND de 2022

| | PEMAD | PEVIL | PEPOM | PENEK |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| P(OND22+) | 0.26 | 0.24 | 0.25 | 0.3 |
| P(OND22 m) | 0.54 | 0.5 | 0.43 | 0.48 |
| P(OND22-) | 0.2 | 0.26 | 0.32 | 0.22 |

6.1.2. trimestre EFM 2023

Se repitió el mismo procedimiento para el caso del trimestre EFM 2023, ya que el promedio de los pronósticos indica condiciones Niña para ese trimestre (panel izquierdo de la figura 7). Los sitios en los que se observa una relación mas clara entre los eventos Niño/Niña y la velocidad del viento fueron Villalonga y Necochea (tabla 6)

Cuadro 6: Tablas de contingencia para los sitios PEMAD, PEVIL, PEPOM y PENEK entre eventos de recurso eólico superior, promedio e inferior (EFM+, EFM m y EFM-, definidos como superiores al percentil 75, entre el percentil 25 y el 75, e inferiores al percentil 25), y condiciones Niño/neutral/Niña (definidos a partir del índice Niño 3.4) para el trimestre EFM.

| | PEMAD | | | PEVIL | | |
|--------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| | EFM+ | EFM m | EFM- | EFM+ | EFM m | EFM- |
| niño | 2 | 5 | 2 | 5 | 3 | 1 |
| neutro | 4 | 8 | 6 | 3 | 8 | 7 |
| niña | 5 | 7 | 3 | 3 | 9 | 3 |

| | PEPOM | | | PENEK | | |
|--------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| | EFM+ | EFM m | EFM- | EFM+ | EFM m | EFM- |
| niño | 2 | 5 | 2 | 5 | 3 | 1 |
| neutro | 3 | 8 | 7 | 2 | 10 | 6 |
| niña | 6 | 7 | 2 | 4 | 7 | 4 |

Así, para cada uno de los sitios, se puede calcular la probabilidad de que en el trimestre EFM ocurran velocidades del viento más intensas que el promedio (EFM+), cercanas al promedio (EFM m) o inferiores al promedio (EFM-) de manera similar a las ecuaciones 2, 3 y 4:

Cuadro 7: Probabilidades de ocurrencia de velocidades de viento superiores al promedio (P(EFM+)), cercanas al promedio (P(EFM m)), e inferiores al promedio (P(EFM-)) para los sitios PEMAD, PEVIL, PEPOM y PENEK en el trimestre EFM de 2023

| | PEMAD | PEVIL | PEPOM | PENEK |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| P(EFM23+) | 0.28 | 0.2 | 0.29 | 0.21 |
| P(EFM23 m) | 0.46 | 0.52 | 0.46 | 0.5 |
| P(EFM23-) | 0.26 | 0.28 | 0.25 | 0.29 |

Con estos resultados se puede inferir la probabilidad del resultado anual en base a las correlaciones entre el año calendario y el trimestre efm. Por ejemplo, para calcular la probabilidad de ocurrencia de un año con recurso superior al promedio la ecuación es:

$$P(\text{año}^+) = P(\text{año}^+|\text{EFM}^+)*P(\text{EFM}^+)+P(\text{año}^+|\text{EFM}m)*P(\text{EFM}m)+P(\text{año}^+|\text{EFM}^-)*P(\text{EFM}^-) \quad (5)$$

Los valores P(EFM+), P(EFM m) y P(EFM-) se obtienen de la tabla 7, mientras que las probabilidades condicionales P(año—EFM) se obtienen de la tabla de contingencia realizada entre años y trimestres EFM que se muestra a continuación:

Cuadro 8: Tablas de contingencia para los sitios PEMAD, PEVIL, PEPOM y PENEK entre eventos anuales y trimestrales (trimestre EFM) de recurso eólico superior, promedio e inferior (definidos como superiores al percentil 75, entre el percentil 25 y el 75, e inferiores al percentil 25)

| | PEMAD | | | PEVIL | | |
|--------------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| | EFM+ | EFM m | EFM- | EFM+ | EFM m | EFM- |
| año+ | 5 | 5 | 1 | 3 | 5 | 3 |
| año m | 4 | 9 | 7 | 6 | 10 | 4 |
| año- | 2 | 6 | 3 | 2 | 5 | 4 |

| | PEPOM | | | PENEK | | |
|--------------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| | EFM+ | EFM m | EFM- | EFM+ | EFM m | EFM- |
| año+ | 4 | 6 | 1 | 4 | 7 | 0 |
| año m | 5 | 10 | 5 | 5 | 10 | 5 |
| año- | 2 | 4 | 5 | 2 | 3 | 6 |

Así, se obtienen las probabilidades de ocurrencia de un año con recurso por encima del promedio (año+), en torno al promedio (año m), y por debajo del promedio (año-)

Cuadro 9: Probabilidades de ocurrencia de velocidades de viento superiores al promedio (P(2023+)), cercanas al promedio (P(2023 m)), e inferiores al promedio (P(2023-)) para los sitios PEMAD, PEVIL, PEPOM y PENEK para el año 2023

| | PEMAD | PEVIL | PEPOM | PENEK |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| P(2023+) | 0.28 | 0.26 | 0.26 | 0.27 |
| P(2023 m) | 0.47 | 0.48 | 0.47 | 0.47 |
| P(2023-) | 0.27 | 0.26 | 0.27 | 0.26 |

6.2. Modelos climáticos del Centro Europeo

La tabla 10 muestra los promedios de ensambles de pronósticos de anomalías de velocidad del viento a 2 metros de altura de los modelos NCEP, ECMWF, METEOFRENCE, y UKMO. Es importante resaltar que las magnitudes son décimas de metro por segundo x 10. El motivo de que las magnitudes sean tan pequeñas es que los números presentados son el promedio de muchos pronósticos (ensambles), los cuales pueden tener diferentes valores y signos. Dadas estas magnitudes pequeñas, no tiene sentido discriminar el recurso pronosticado en los percentiles utilizados anteriormente (recurso "malo": por debajo del percentil 25, recurso "normal": entre percentil 25 y 75, y recurso "bueno": sobre percentil 75). En este caso se discriminan solo desvíos positivos y negativos.

Cuadro 10: Promedios de ensambles de pronósticos de anomalías de velocidad del viento a 10 metros de altura de los modelos NCEP, ECMWF, METEOFRENCE, y UKMO; [$10^{-2}m/s$]

| modelo | sep | oct | nov | dic | ene | feb |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PENEC | | | | | | |
| ncep | -15 | -5 | 8 | -3 | 5 | -3 |
| ecmwf | 10 | 6 | 13 | 15 | 21 | 15 |
| meteo | -13 | -12 | 6 | 2 | 11 | -4 |
| ukmo | 19 | 15 | 8 | 0 | | |
| PEPOM I | | | | | | |
| ncep | -30 | -6 | -3 | -6 | 4 | -9 |
| ecmwf | -9 | 3 | -23 | -5 | 2 | 4 |
| meteo | -17 | -11 | -18 | -6 | 7 | -8 |
| ukmo | -2 | -8 | 7 | 0 | | |
| PEVIL I | | | | | | |
| ncep | -16 | 2 | 5 | -1 | -6 | -4 |
| ecmwf | 11 | 9 | -4 | 0 | 2 | 7 |
| meteo | -10 | -8 | -2 | -3 | 9 | -3 |
| ukmo | 9 | 4 | 7 | 0 | | |
| PEM I | | | | | | |
| ncep | -36 | 0 | 7 | -2 | 6 | -3 |
| ecmwf | -12 | 5 | -11 | 3 | -1 | 6 |
| meteo | -18 | -2 | -18 | 5 | 4 | -5 |
| ukmo | 15 | 1 | 12 | -1 | | |

Los pronósticos llegan hasta el mes de febrero de 2022. Se pueden obtener, entonces, las probabilidades de ocurrencia de un trimestre OND 2022 con anomalías positivas o negativas; y lo mismo para el bimestre EF 2023 (tabla 11).

Cuadro 11: Probabilidades de ocurrencia de anomalías de velocidad del viento positivas (+) para el trimestre OND 2022 y EF 2023

| | PENEC | PEPOM | PEVIL | PEMAD |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| P(OND22+) | 0.5 | 0 | 0.75 | 0.25 |
| P(EF23+) | 1 | 0.33 | 0.66 | 0.66 |

Al contar con pronósticos de anomalías de velocidad del viento, se pueden analizar las relaciones históricas entre las velocidades del viento en cada sitio en el bimestre EF y el resto del año, para obtener un pronóstico a nivel anual. Estas relaciones se muestran en la tabla 12.

Cuadro 12: Tablas de contingencia para los sitios PEMAD, PEVIL, PEPOM y PENEK entre anomalías anuales y bimestrales bimestre EF) de velocidades del viento

| | PEMAD | | PEVIL | |
|------|-------|-----|-------|-----|
| | ef+ | ef- | ef+ | ef- |
| año+ | 12 | 8 | 11 | 9 |
| año- | 9 | 13 | 10 | 12 |

| | PEPOM | | PENEK | |
|------|-------|-----|-------|------|
| | ef+ | ef- | ef+ | efm- |
| año+ | 15 | 7 | 13 | 7 |
| año- | 7 | 13 | 9 | 13 |

Utilizando las probabilidades condicionales, al igual que en los casos anteriores, se llega a la probabilidad de ocurrencia de un año 2023 con anomalía positiva en la velocidad del viento promedio [13](#).

Cuadro 13: Probabilidades de ocurrencia de anomalías de velocidad del viento positivas (+) para el trimestre OND 2022 y EF 2023

| | PEMAD | PEVIL | PEPOM | PENEK |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| P(2023+) | 0.5 | 0.48 | 0.45 | 0.59 |

6.3. Influencia del agujero de OZONO

A continuación se analiza la factibilidad de utilizar otro forzante climático como posible predictor. El agujero de ozono se desarrolla entre finales de invierno y finales de primavera. Muestra variaciones año a año en intensidad y en área. Existe evidencia de que estas variaciones ejercen influencia en la circulación de los vientos de los oestes en el hemisferio sur, incluso varios meses luego de la primavera. Las variables que se evaluaron como predictoras fueron: el área de máxima extensión del agujero de ozono y su fecha de ocurrencia, y el mínimo de espesor y su fecha de ocurrencia. Estos datos pueden descargarse de la página de monitoreo del agujero de ozono de la [NASA](#). Se calcularon las correlaciones entre estas series y las series de velocidad del viento promediadas en forma trimestral para cada uno de los sitios. Se encontraron correlaciones de alrededor de -0.36 entre la fecha del área máxima de agujero de ozono y los promedios de velocidad del viento del trimestre JAS del año siguiente en los sitios Madryn, Rawson y Trelew. Además, se encontró una correlación de -0.41 entre la fecha de mínimo espesor de ozono y la velocidad del viento en el trimestre JAS del año siguiente en Necochea (Figura 8)

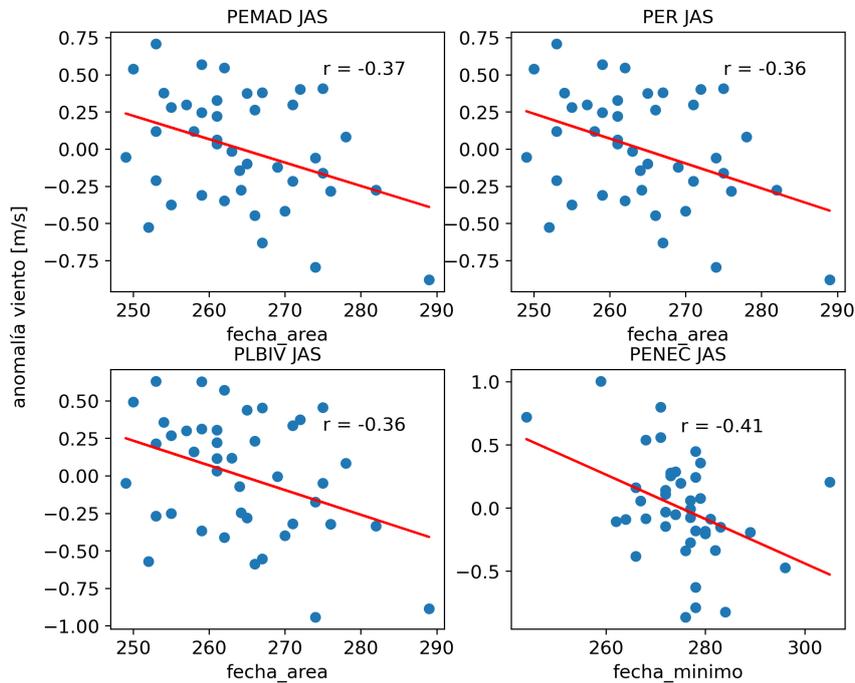


Figura 8: Regresión entre las variables fecha de área máxima de agujero de ozono y fecha de mínimo espesor de agujero de ozono, y el viento en el trimestre JAS del año siguiente en Madryn, Rawson, Trelew y Necochea

Tanto el área máxima del agujero de ozono como el mínimo espesor ocurren normalmente entre fines de septiembre y octubre (Figura 9). Para realizar un pronóstico para el trimestre JAS del año 2023 habrá que esperar la evolución de estas variables en las próximas semanas.

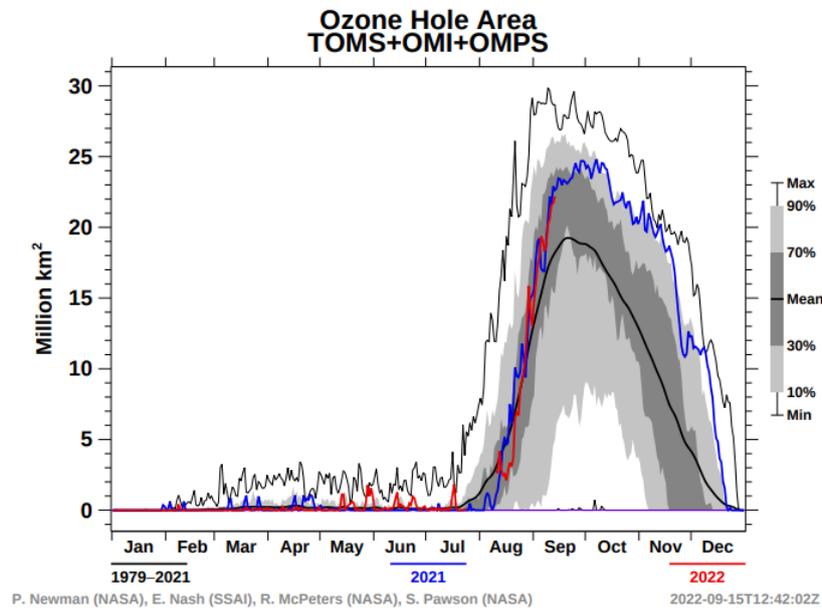


Figura 9: Evolución del área del agujero de ozono. La línea negra indica el promedio en el período 1979-2021, la línea roja la evolución del corriente año

Una vez que se obtengan las fechas de área máxima y mínimo espesor, se podrán calcular las probabilidades de tener un trimestre JAS 2023 con recurso bueno, regular y malo utilizando las tablas 14 y 15. Por ejemplo, si el mínimo de espesor de ozono ocurriese luego del 28 de septiembre, la probabilidad de que el recurso en el trimestre JAS 2023 sea bueno sería de 0.1 aproximadamente, mientras que la probabilidad de que el recurso sea malo sería de 0.45.

Cuadro 14: Tabla de contingencia para el sitio PEMAD entre los rangos de velocidad del viento en el trimestre JAS (recurso eólico superior, promedio e inferior definidos como superiores al percentil 75, entre el percentil 25 y el 75, e inferiores al percentil 25), y la fecha de ocurrencia del área máxima del agujero de ozono (en días del año)

| | PEMAD | | |
|-------------------|-------|-------|------|
| | jas+ | jas m | jas- |
| fecha > 270 | 2 | 5 | 4 |
| 258 < fecha < 270 | 5 | 10 | 5 |
| fecha < 258 | 4 | 5 | 2 |

Cuadro 15: Tabla de contingencia para el sitio PENEK entre los rangos de velocidad del viento en el trimestre JAS (recurso eólico superior, promedio e inferior definidos como superiores al percentil 75, entre el percentil 25 y el 75, e inferiores al percentil 25), y la fecha de ocurrencia del espesor mínimo de ozono (en días del año)

| | PEMAD | | |
|-------------------|-------|-------|------|
| | jas+ | jas m | jas- |
| fecha > 279 | 1 | 5 | 5 |
| 271 < fecha < 279 | 5 | 10 | 5 |
| fecha < 271 | 5 | 5 | 1 |