



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE DEFENSA



Instituto
Nacional
de Técnica
Aeroespacial

Influencia de la meteorología sinóptica, transporte atmosférico y estructura vertical sobre el ozono troposférico en Belgrano II, Antártida occidental

Influence of synoptic meteorology, atmospheric transport and vertical structure on tropospheric ozone at Belgrano II, Western Antarctica

Adame, J.A.^a, Navarro-Comas, M.^b, Ochoa, H.^c, Prados-Roman, C.^b, Yela, M.^b

^a Estación de Sondeos Atmosféricos – El Arenosillo. Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Mazagón - Huelva. España.

^b Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) Torrejón de Ardoz, Madrid. Spain.

^c Dirección Nacional del Antártico (DNA)/Instituto Antártico Argentino (IAA). San Martín. Buenos Aires. Argentina.



Proyecto: “GASES Y AEROSOLES EN LA ANTARTIDA: DISTRIBUCION, CONTEXTO Y VARIABILIDAD”

GARDENIA



Referencia PID2021-122737NB-I00

En X: [@GardeniaPolar](#)



Objetivo del trabajo

Conocer cómo la meteorológica sinóptica y el transporte atmosférico modulan la variabilidad del ozono troposférico en la estación de Belgrano II, Antártida occidental.

Área de estudio y campañas antárticas

Belgrano II (77.87° S, 34.62° W)



Área de estudio y campañas antárticas

- ✓ Colaboración entre el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y la Dirección Nacional del Antártico Argentino (DNA)/Instituto Antártico Argentino (IAA).
- ✓ Desde 1999 se realizan sondeos meteorológicos y de ozono en Belgrano II.

1999 -2023 → 754 sondeos



Metodología

Meteorología sinóptica y transporte atmosférico

Campos Z850 → ERA5 – ECMWF

- Mapas estacionales de la Antártida.

Retrotrayectorias de masas de aire

- HYSPLIT – ERA5.
- Calculadas a 1500 m, una semana de recorrido, diarias (00 y 12 h).
- Mapas estacionales de densidad de trayectorias normalizada.



Metodología

Sondeos – Homogeneización – Criterios de clasificación

Sondeos

- Perfiles meteorológicos y de ozono.
- Sondas RS92 y RS41, sondas de ozono modelos ECC (ENSCI-Z y SPC-6A).
- Protocolos de la OMM y ASOPOS (Assessment of Standard Operating Procedures for Ozonesondes).

Homogeneización

- En niveles de presión cada 5 hPa.

Criterios de clasificación → procedencia del transporte

- Masas de aire → transporte → definición de cuatro sectores.
- Sondeos clasificados → según la dirección del viento entre 950 y 700 hPa.



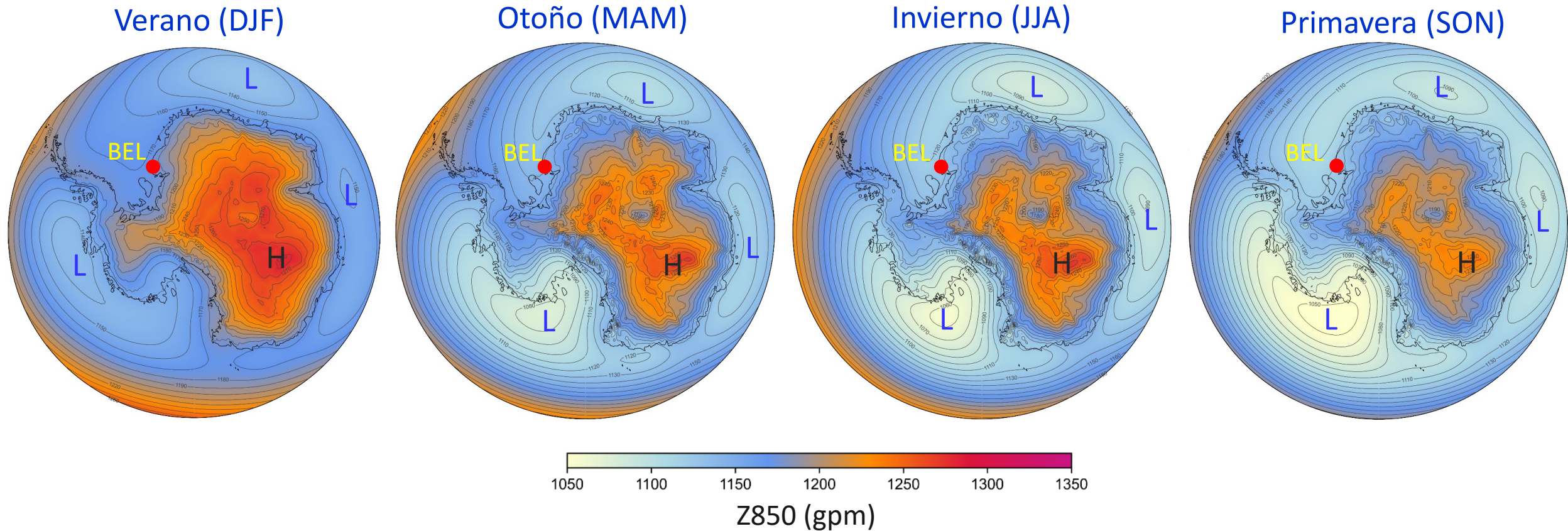
Metodología

Tendencias

- Series temporales mensuales de ozono y temperatura por niveles de presión (950 a 300 hPa) → perfil de tendencia.
- Aplicado el test de Mann-Kendall Estacional y estimador de Theil-Sen.
- Cumplen los criterios de TOAR-I y TOAR-II (Tropospheric Ozone Assessment Report).

Resultados

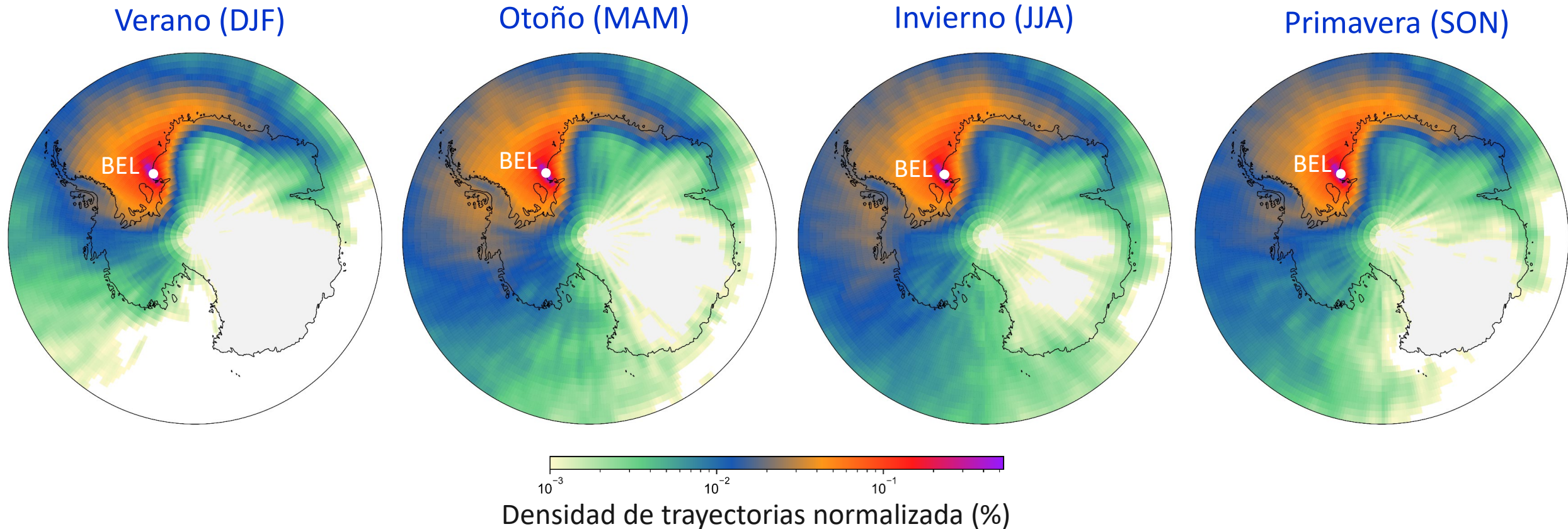
Meteorología sinóptica y transporte atmosférico



Mapas estacionales de altura geopotencial a 850 hPa (Z850). 1999-2023.

Resultados

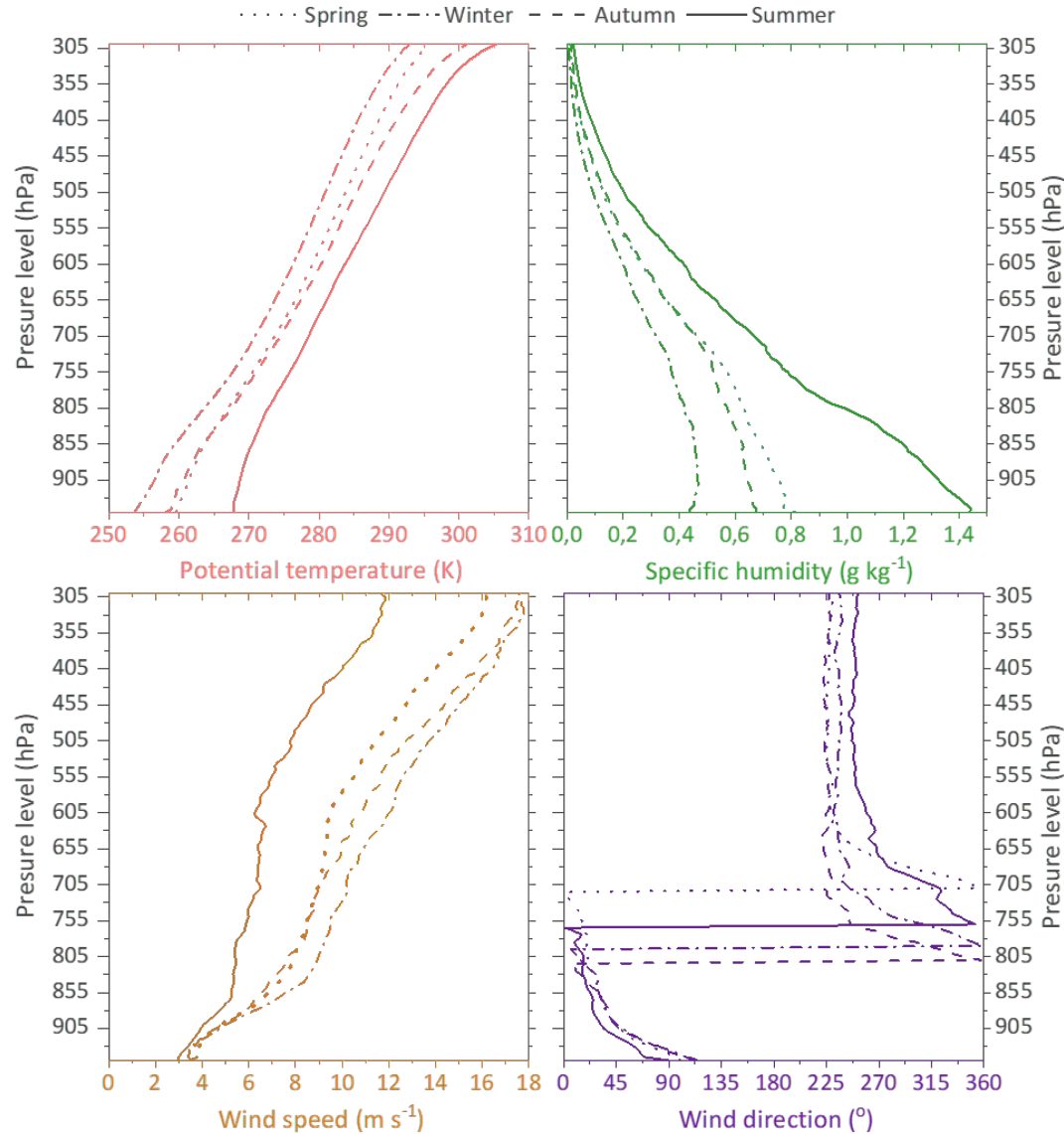
Meteorología sinóptica y transporte atmosférico



Mapas estacionales con la densidad de las retrotrayectorias normalizada (%) a 1500 m calculadas con el modelo HYSPLIT. 1999 – 2023.

Resultados

Perfiles meteorológicos estacionales



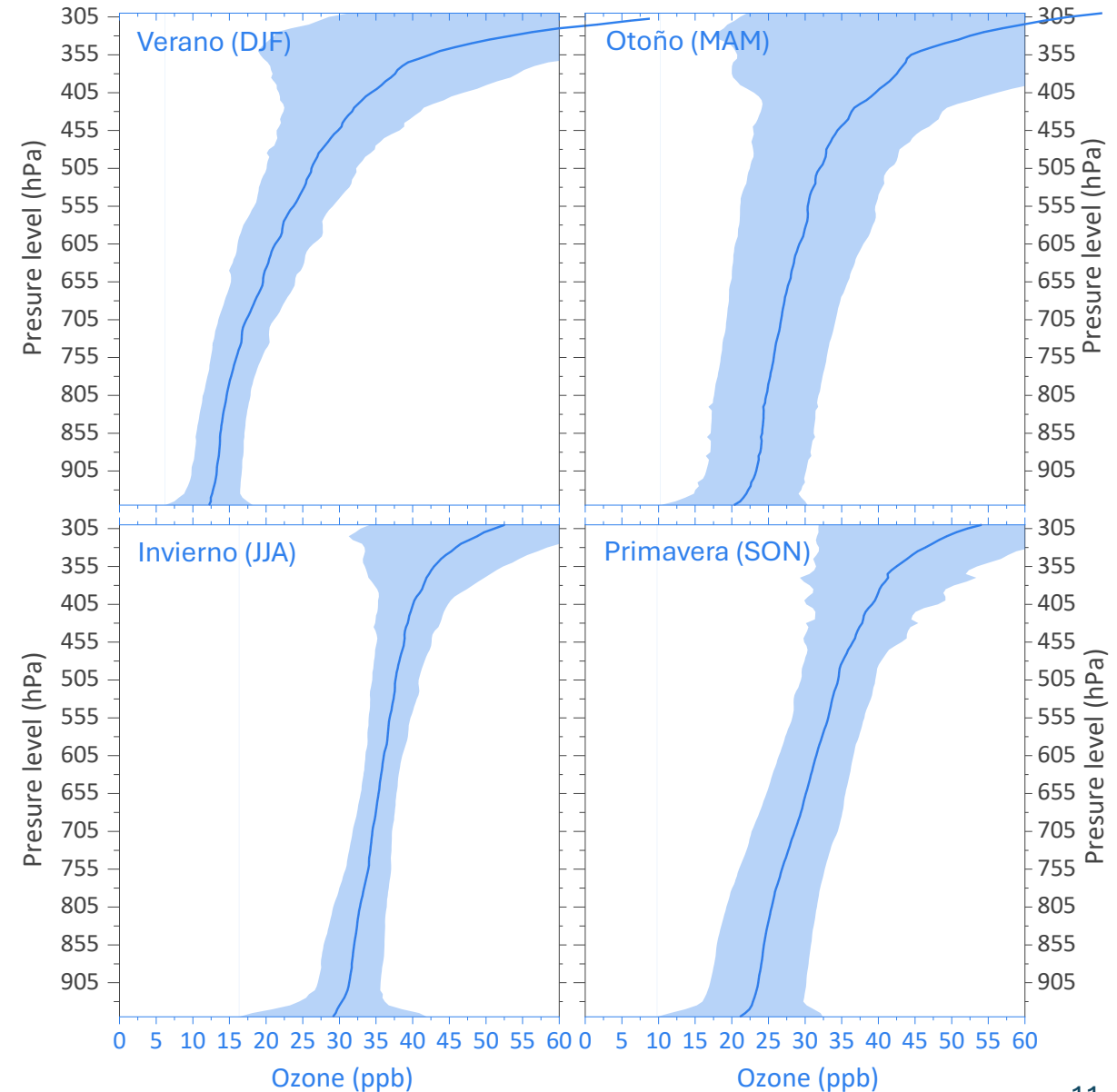
Perfiles estacionales de temperatura potencial, humedad específica, velocidad y dirección del viento. 1999 – 2023.

- Ciclo estacional de temperatura y humedad. Máximos en verano y otoño → masas marinas.
- Estratificación térmica en toda la columna. Inversión térmica. Mayor en invierno y otoño.
- Humedad confinada por debajo de los 700 hPa. Sequedad extrema en troposfera media-alta.
- Incremento de velocidad en altura → jet polar.
- Dirección del viento → cizalladura. Transición E a W. Catabáticos a vientos del oeste.

Resultados

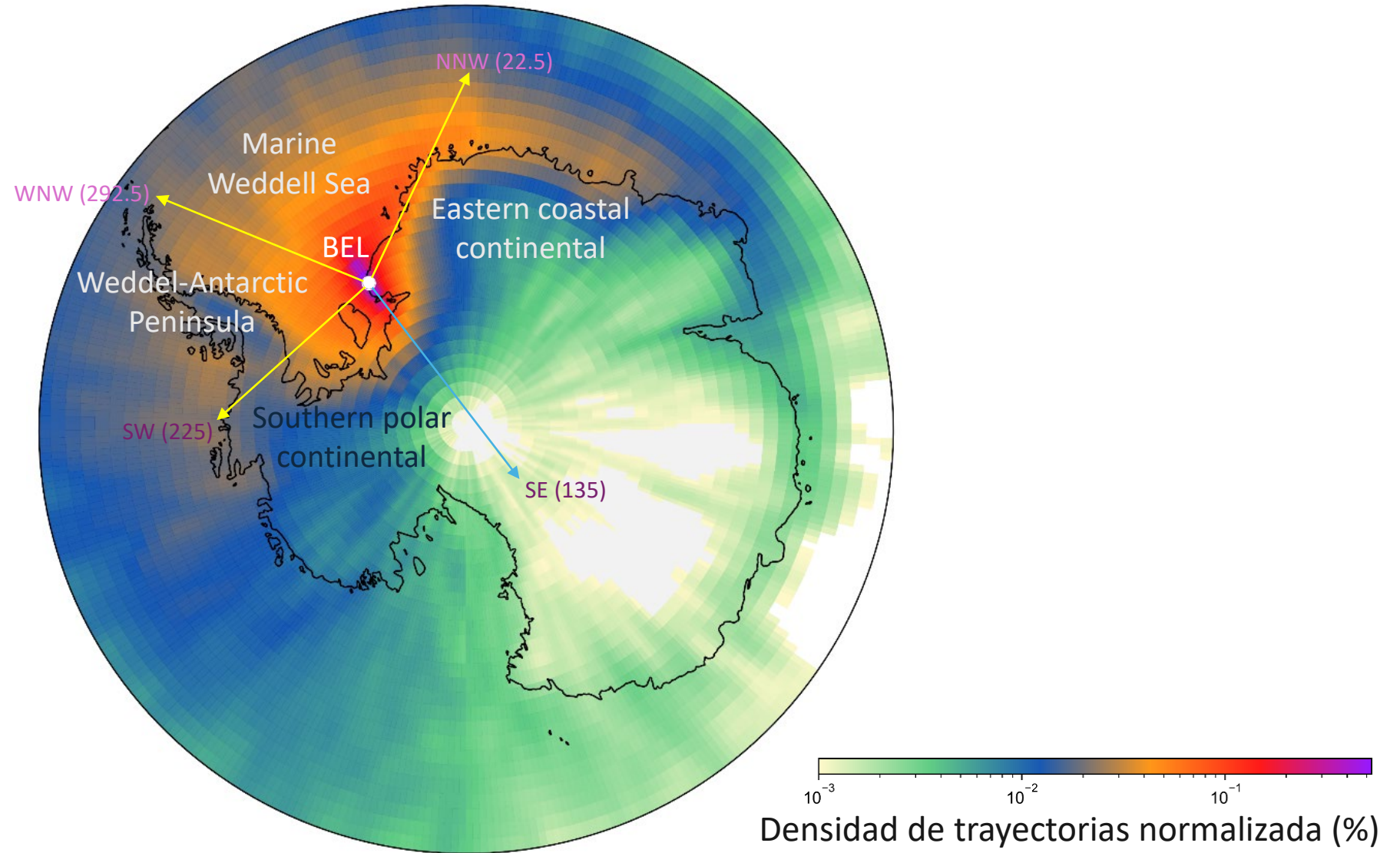
Perfiles estacionales de ozono troposférico

- Incremento de ozono con la altitud (~15-25 ppb en superficie a ~55 ppb a 300 hPa).
- Verano. Perfil más uniforme y mínima variabilidad; atmósfera bien mezclada, baja estratificación e influencia marina.
- Otoño. Máxima variabilidad; rápido incremento por cese de la fotólisis y mayor estabilidad → acumulación.
- Invierno. Máximos en superficie (30–35 ppb) por no radiación (no fotólisis), estabilidad elevada.
- Primavera. Reactivación de la fotoquímica destructiva, radiación solar y cambios en la circulación sinóptica

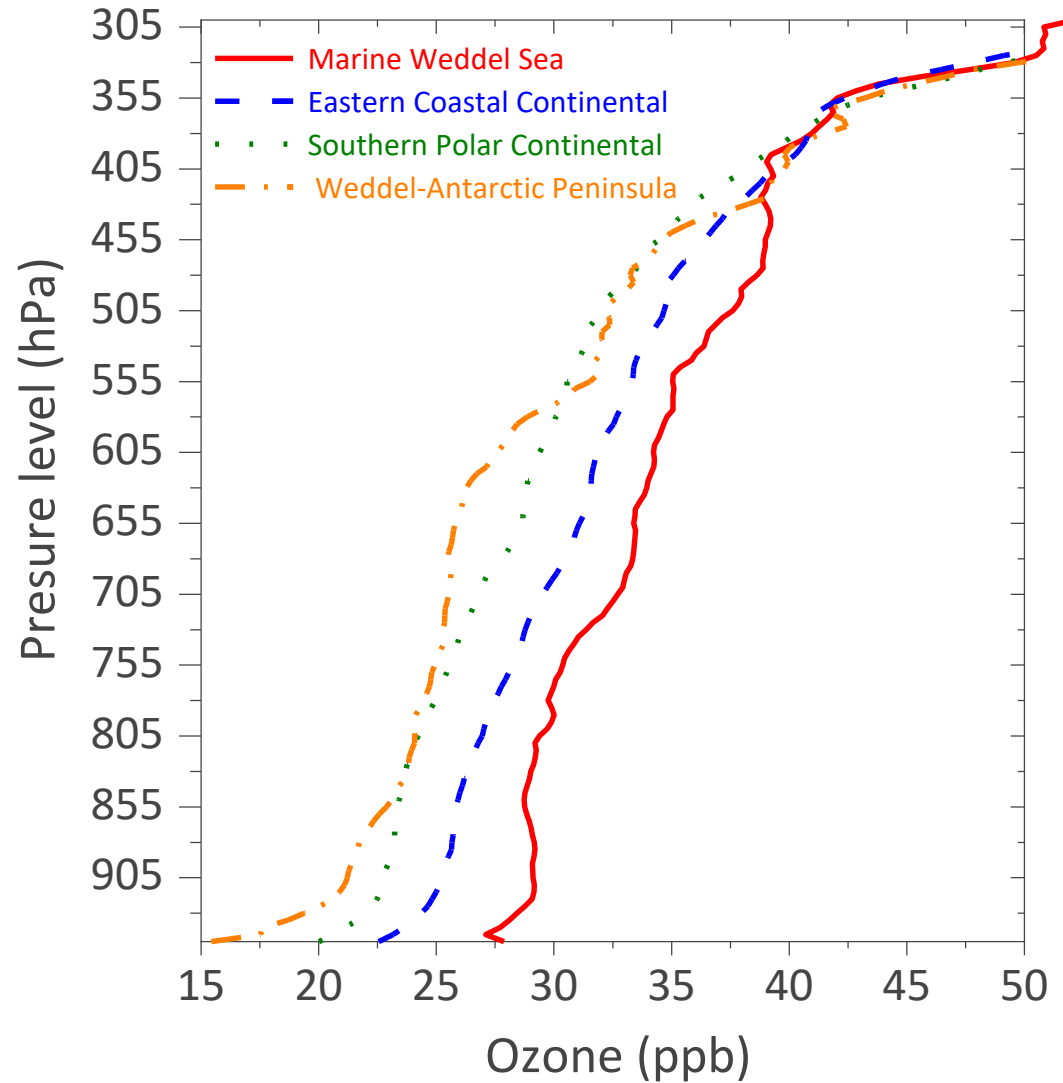


Perfiles estacionales de ozono troposférico. 1999 – 2023.

Perfiles de ozono según el régimen de transporte



Sectores de influencia según resultados de las trayectorias (transporte) y orografía.

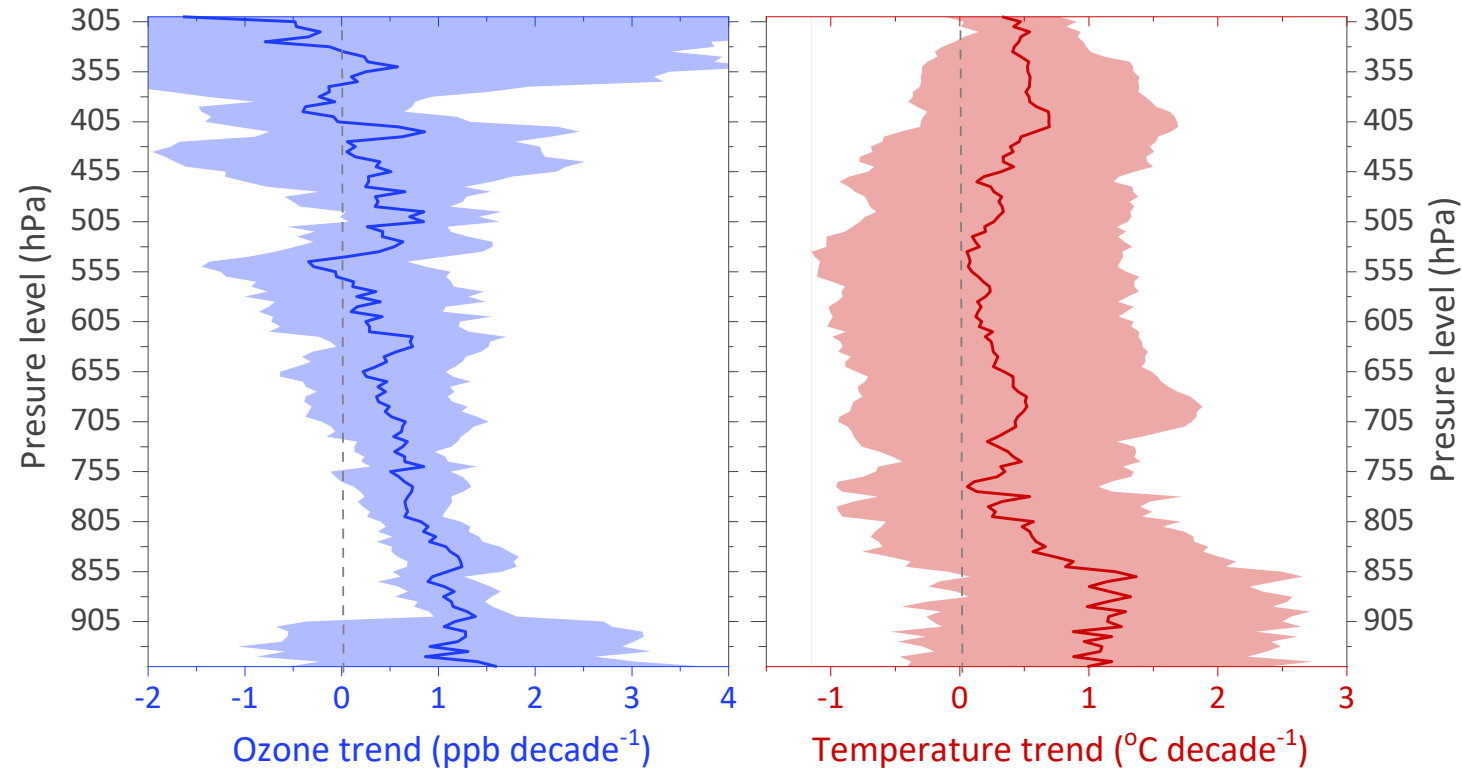


Perfiles estacionales de ozono según el régimen de transporte: “Marine Weddel Sea, Eastern Coastal Continental, Southern Polar Continental y Weddel Antarctica Peninsula”.

- Variabilidad del ozono en la baja-media troposfera está fuertemente modulada por el transporte sinóptico.
- Los flujos marinos del Mar de Weddell, concentraciones más altas, con 29.8 ± 1.2 ppb.
- Los mínimos se obtienen con el transporte desde la Península Antártica (23.5 ± 1.7 ppb) .
- A partir de 400 hPa, el perfil de ozono es independiente del régimen de transporte.

Resultados Tendencia de la temperatura y del ozono en la troposfera

- Incremento de ozono de $\sim 1\text{-}1.3$ ppb década⁻¹ hasta 850 hPa y $\sim 0.3\text{-}0.5$ ppb década⁻¹ niveles superiores.
- Incremento de temperatura en toda la troposfera $\rightarrow \sim 1$ °C década⁻¹ hasta 850 hPa y de $\sim 0.3\text{-}0.5$ °C década⁻¹ a partir de 700 hPa.
- Aumento simultáneo de temperatura y ozono.
- Potencial cambio en el transporte: más influencia marina y menos catabáticos.



Perfiles con la tendencia del ozono (ppb década⁻¹) y temperatura (°C década⁻¹), en niveles de presión (cada 5 hPa) durante el periodo 1999-2023.

Conclusiones

- **Influencia de la meteorología sinóptica y transporte regional.** Variabilidad del ozono con una marcada estacionalidad en la estructura vertical de la troposfera.
- **Modulación por regímenes de transporte.**
 - ❖ Aire del Mar de Weddell transporta las mayores concentraciones de ozono.
 - ❖ Flujo desde la Península Antártica actúa como un sumidero con mínimos de ozono → la activación de halógenos en el hielo marino.
- **Alcance vertical del transporte.** La influencia del origen de la masa de aire es profunda y persistente hasta los 400 hPa; por encima el ozono se vuelve independiente del régimen de transporte.
- **Calentamiento troposférico generalizado** → incremento del ozono troposférico.
 - ❖ Potencial cambio en la dinámica regional que favorece la advección de masas marinas más cálidas y ricas en ozono hacia la Antártida Occidental.



**iii Muchas gracias
por su atención!!!**

