

Actividad sinóptica en la Antártida y los Océanos del Sur

- Ciclones, Frentes y ciclogénesis
- Climatología de los ciclones y anticiclones
- Descripción de algunos fenómenos sinópticos asociados a ciclones y frentes
- Interacción Ciclones-hielo marino

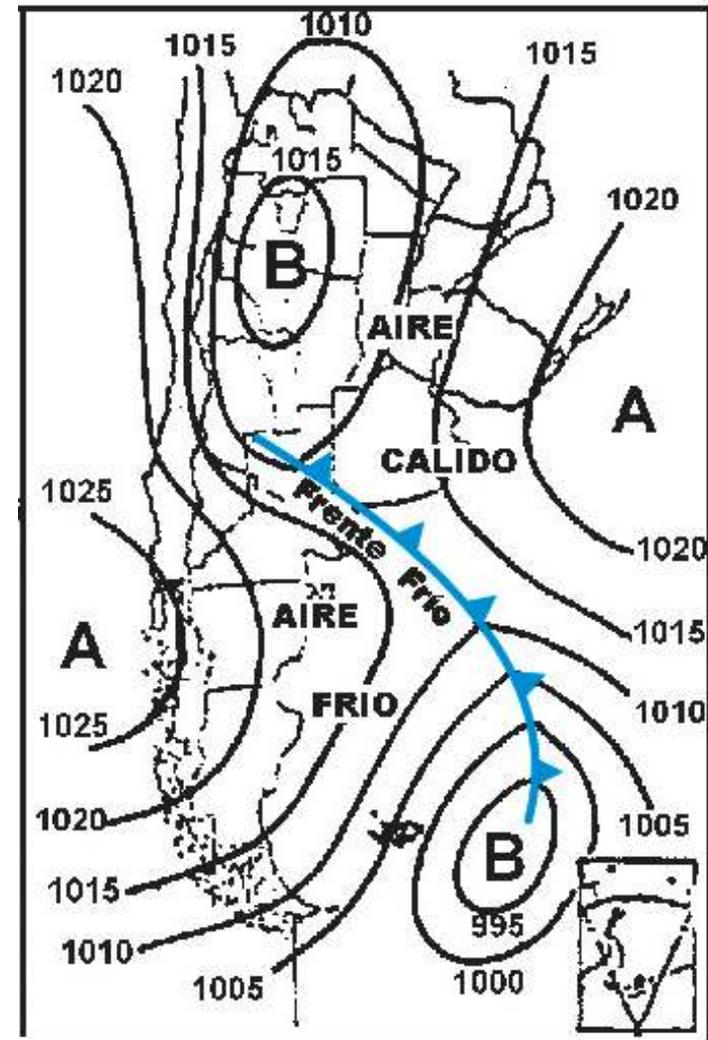
Ciclones y anticiclones

Cuando en un mapa de isobaras existe una zona en la que la presión es más alta que a su alrededor y las isobaras son cerradas aparece una “A” y decimos que hay un **anticiclón**.

En esta zona la estabilidad atmosférica será alta, puesto que el movimiento del aire es descendente evitando la formación de nubosidad, y difícilmente lloverá.

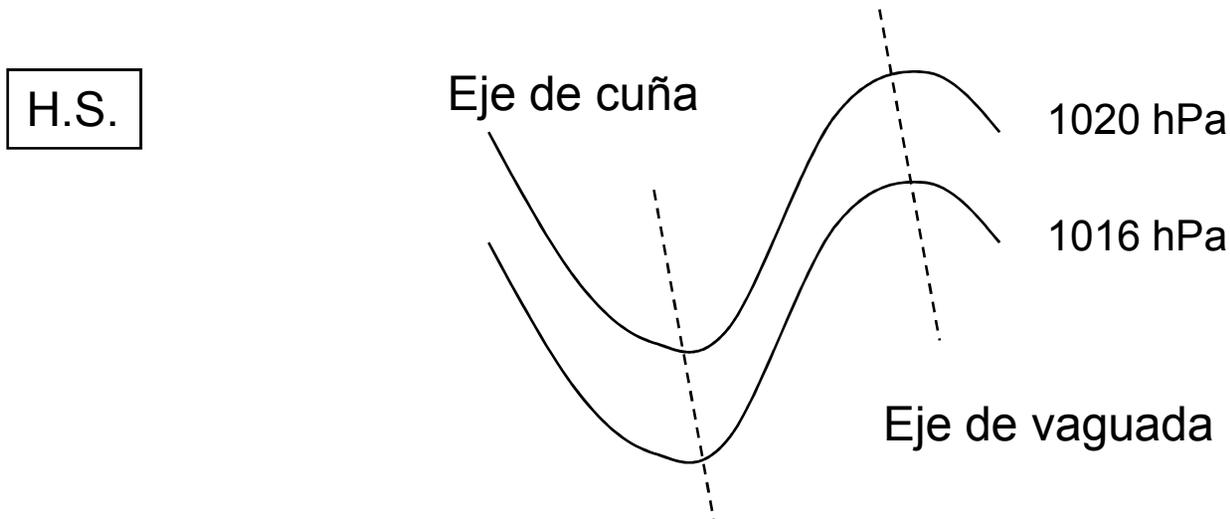
Si por el contrario la presión empieza a decrecer, en el punto en el que alcanzan su valor mínimo aparece una “B” y decimos que hay una zona de baja presión, **depresión o ciclón** cuando las isobaras aparecen cerradas a su alrededor.

En este caso habrá mayor inestabilidad y si se dan otra serie de condiciones podría llover fácilmente. Cuando una zona de bajas presiones va acompañada de tiempo muy lluvioso y con viento intenso se la llama borrasca.



Cuñas y vaguadas

Donde las isobaras son curvas sin cerrarse, a las regiones de altas presiones se les llama *cuñas* y a las de bajas presiones *vaguadas*. La línea que une los puntos de mayor (menor) presión en las cuñas (vaguadas) se llama eje de cuña (vaguada).



Frentes

Los frentes están definidos como las superficies que separan masas de aire de diferentes características (densidad, temperatura y humedad).

Siempre, la masa de aire más caliente y liviano es forzada hacia arriba, mientras que el aire más frío y pesado actúa como una cuña sobre la que tiene lugar el ascenso.

Los frentes pueden tener una longitud de 500 a 5000 km, un ancho de 5 a 50 km y una altura de 3 a 20 km.

La pendiente de la superficie frontal puede variar entre 1:50 y 1:500.

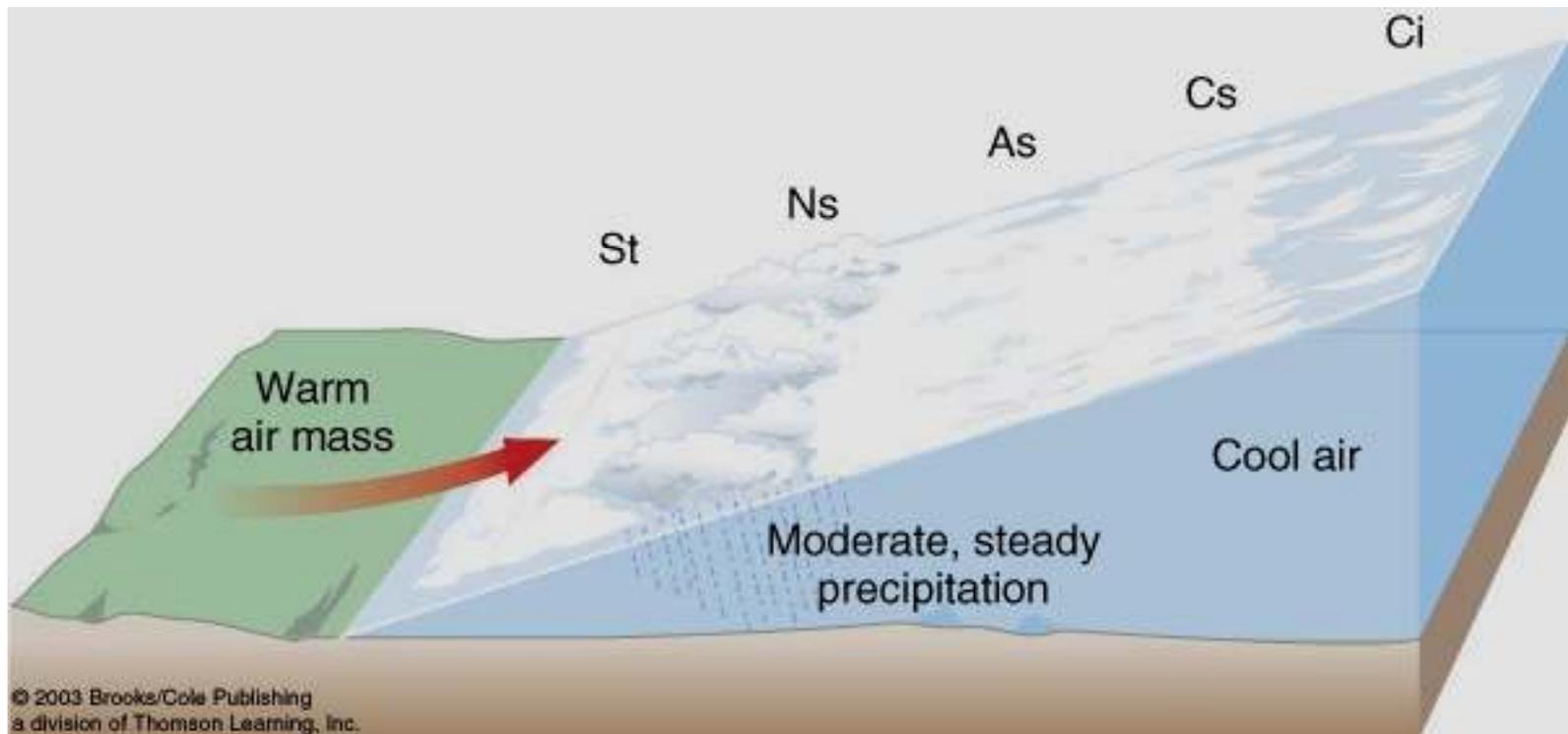
Frente caliente

En este caso, el aire caliente avanza sobre el frío, pero al ser este último más pesado, se pega al suelo y a pesar de retirarse la masa fría, no es desalojada totalmente, de manera que el aire cálido asciende suavemente por la superficie frontal que hace de rampa.

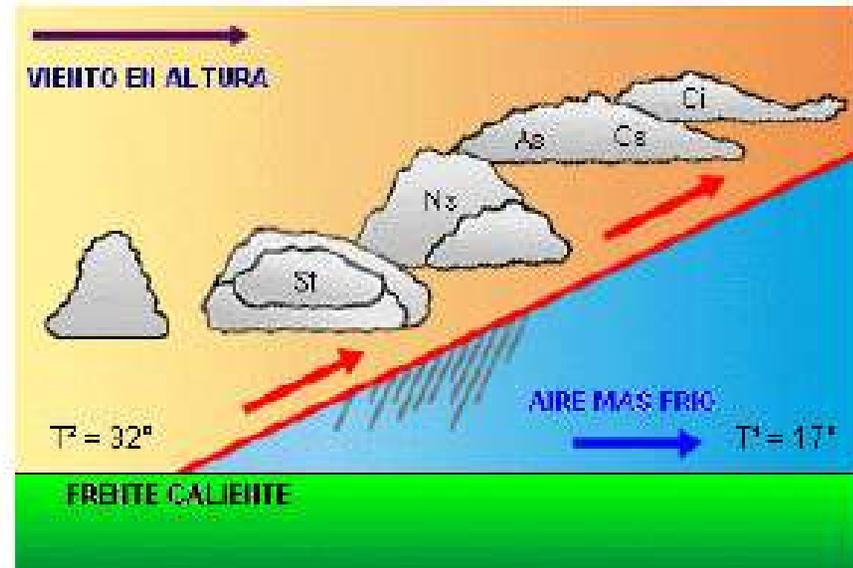
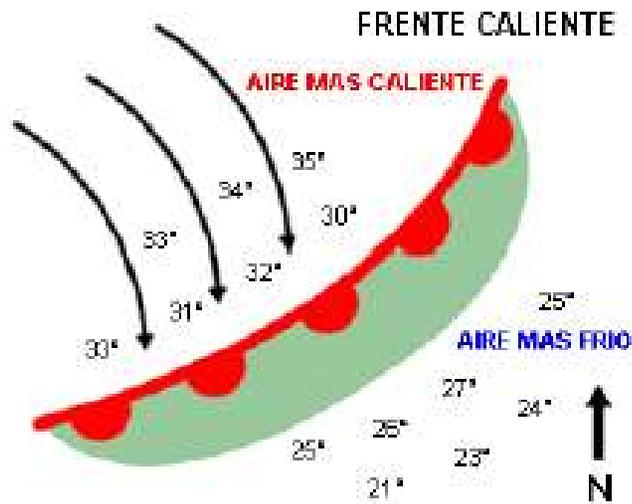
En general la **nubosidad** es estratiforme y las precipitaciones menos intensas que en un frente frío.

La **pendiente media** es de alrededor de 1:200.

Frente caliente



Frente caliente



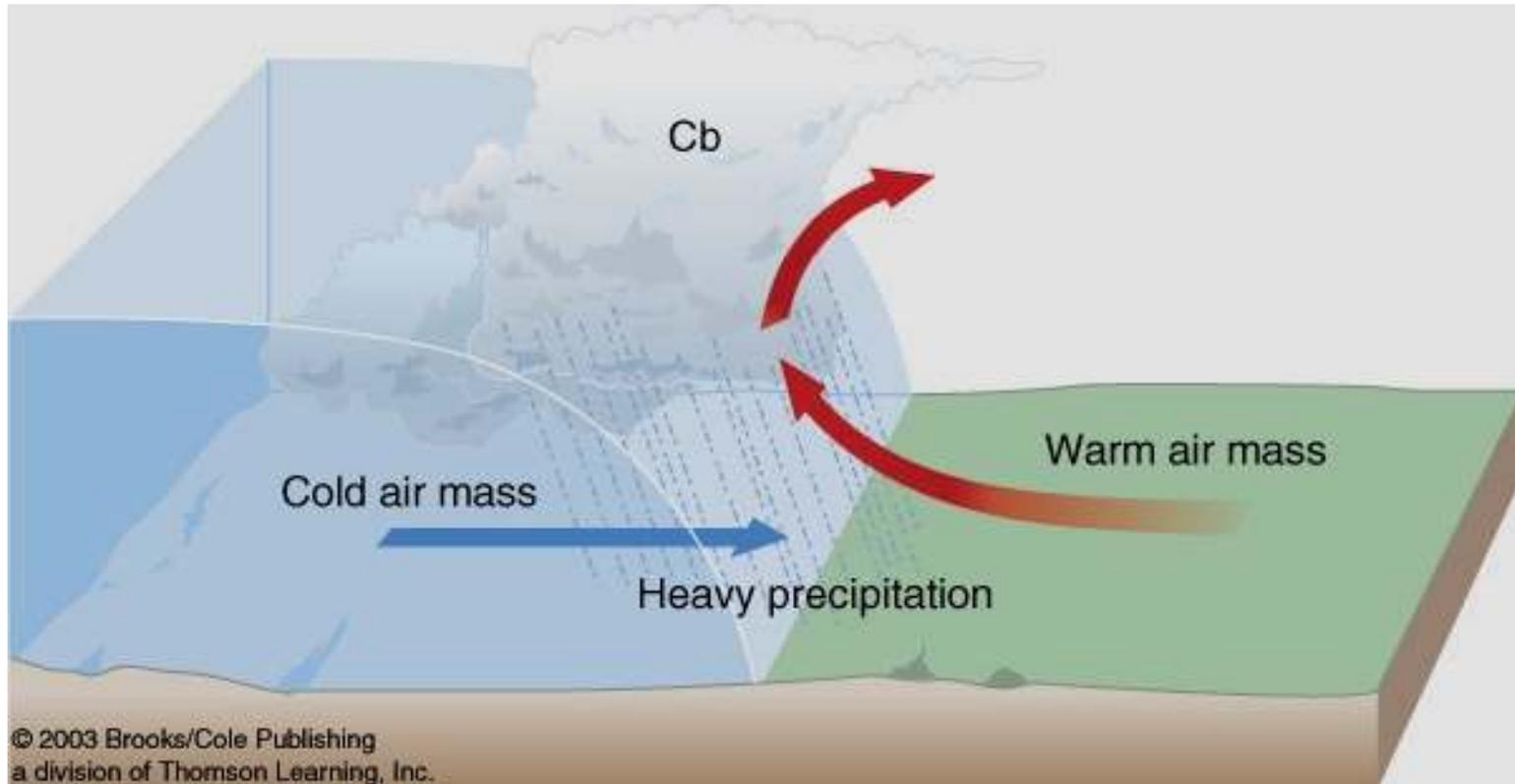
Frente frío

Cuando una superficie frontal se desplaza de tal manera que es el aire frío el que desplaza al aire caliente en superficie, se dice que estamos en presencia de un frente frío.

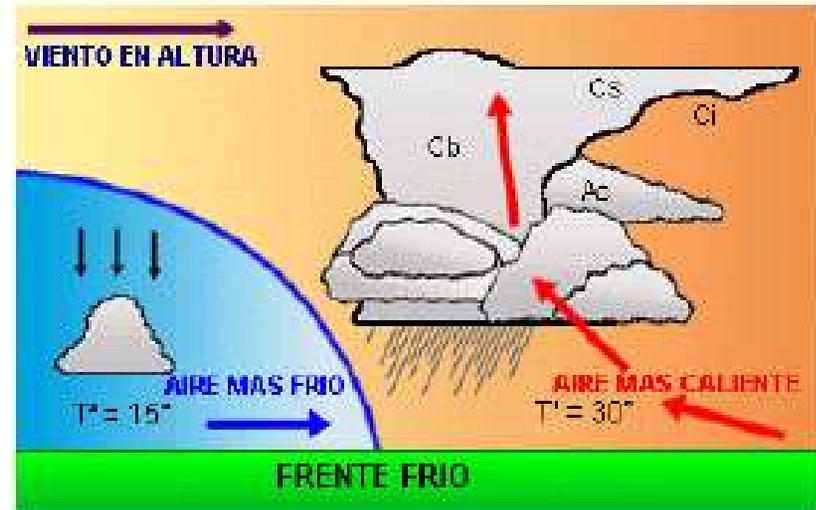
Como la masa de aire frío es más densa, “ataca” al aire caliente por debajo, como si fuese una cuña, lo levanta, lo desaloja y lo obliga a trepar cuesta arriba sobre la empinada superficie frontal.

El fenómeno es muy violento y en estos ascensos se producen abundantes nubes de desarrollo vertical.

Frente frío



Frente frío

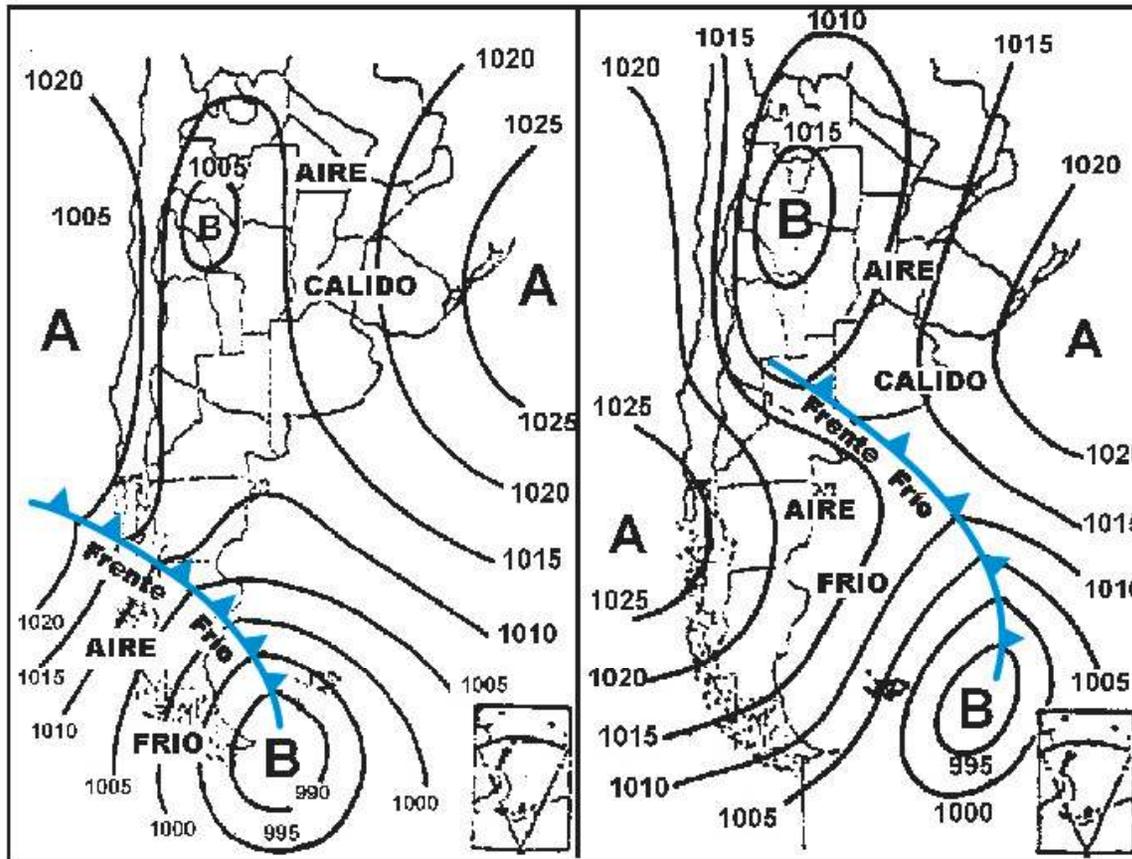


Frentes fríos en Argentina

Los frentes fríos entran a nuestro país desde dos lugares preferenciales:

- 1 - Por el **Oeste** luego de atravesar la cordillera de los Andes (en la zona de Mendoza y Neuquén).
- 2 - Desde el **Sur y Sudoeste**, provenientes del Océano Pacífico, o desde zonas antárticas.

En su avance hacia el norte, los frentes fríos normalmente llegan hasta las provincias del noreste argentino, en donde se detienen algunos días. En esta zona se disuelven o se ponen nuevamente en movimiento, esta vez hacia el sur, transformándose así en un *frente caliente*.



El frente frío avanza hacia el NE y llega al sur bonaerense y centro de La Pampa.

- La Patagonia está completamente bajo el influjo de aire frío, a la vez que se introduce un anticiclón de 1020 hPa, proveniente del sur del Pacífico.

- El aire cálido continúa cubriendo al centro y norte del país.

La baja conectada al extremo SE del frente frío, se mueve hacia el E y se ubica al E de las Islas Malvinas. En la zona del Río de la Plata y costa sudeste bonaerense, soplan vientos del sector N. Cuando el Frente Frío ingresa en Buenos Aires y La Pampa, comienza a generar nubes. Si las condiciones son favorables, produce una zona de lluvias, la cual se va incrementando en tamaño e intensidad, a medida en que el Frente Frío avanza hacia el NE, y va recibiendo cada vez mayor cantidad de vapor de agua proveniente del Norte Argentino. Si existe suficiente inestabilidad, las precipitaciones son acompañadas de algunas tormentas eléctricas.

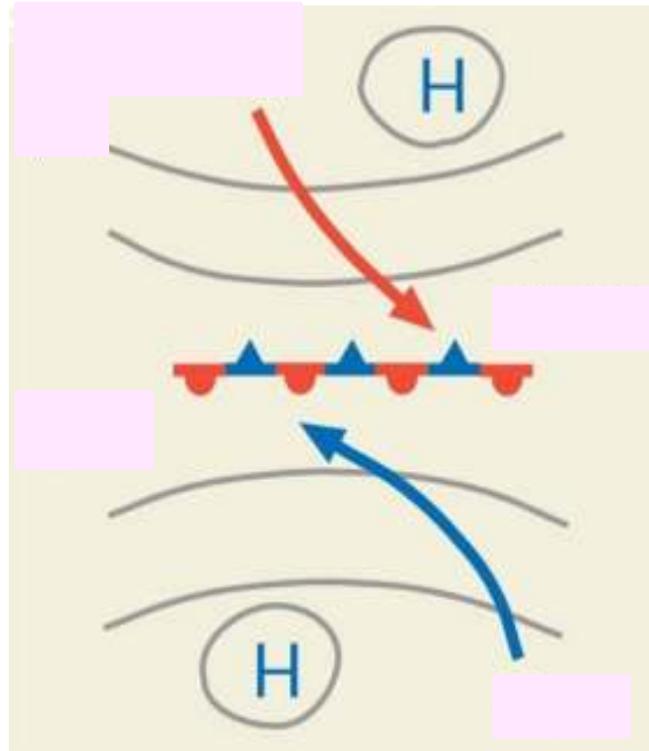
Ciclogénesis

Es el desarrollo o fortalecimiento de un ciclón en latitudes medias..

Los ciclones se forman en los lugares donde hay un *contraste* entre masas de aire (caliente vs. frío).

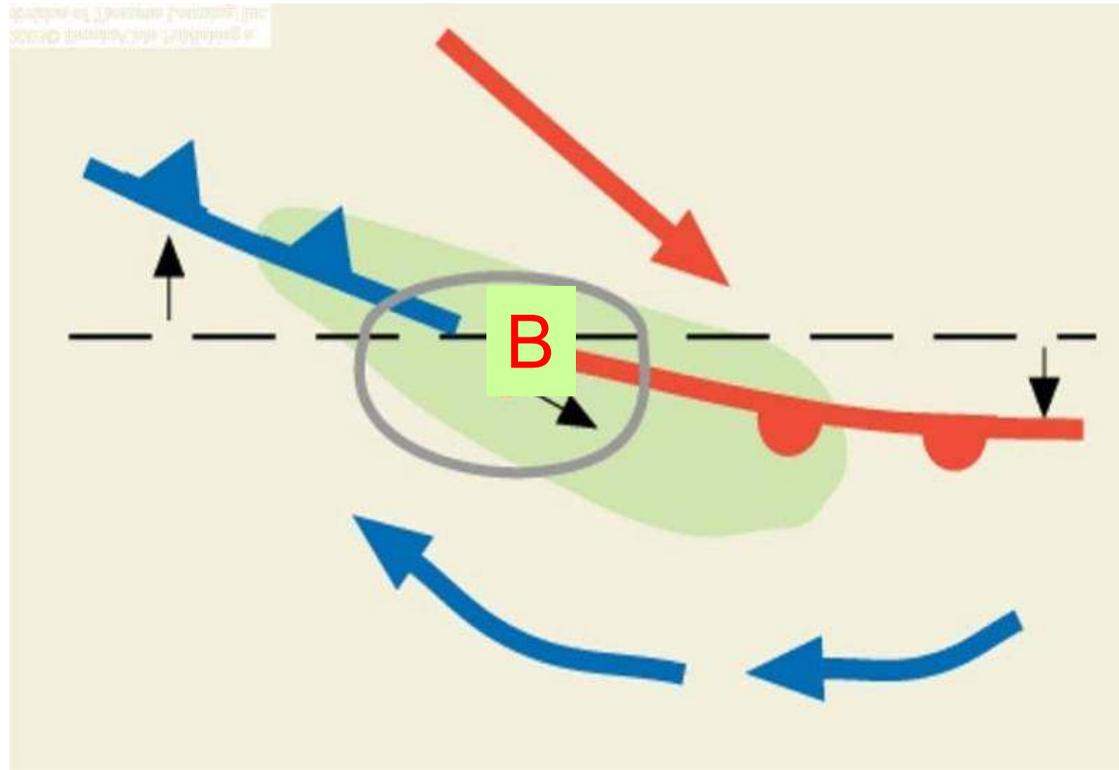
Evolución de un ciclón: Teoría del frente polar

Paso 1



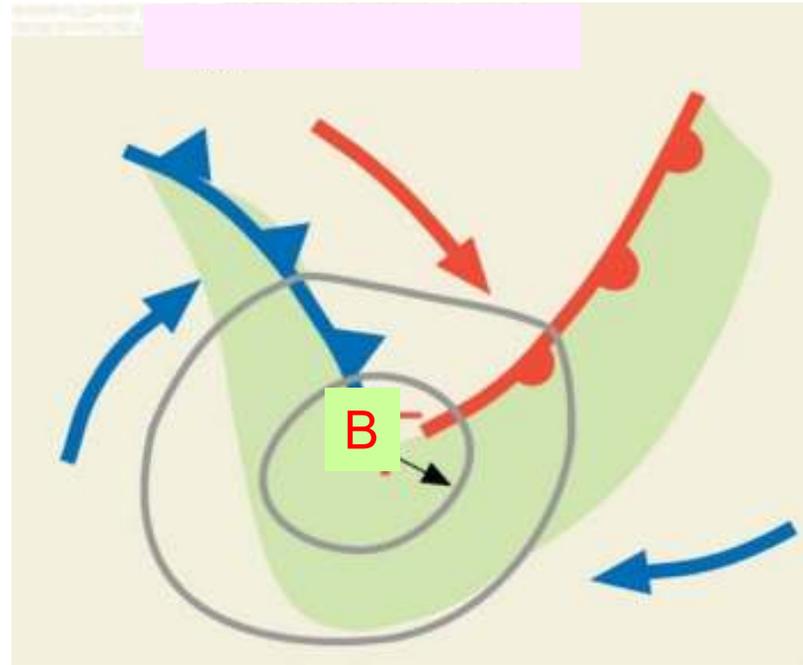
Se inicia cuando, a lo largo del frente polar, una masa de aire polar, frío y seco, comienza a desplazarse hacia el norte, mientras que una masa de aire tropical, cálido y húmedo, lo hace hacia el sur.

Paso 2



En la siguiente fase, la ondulación se intensifica y se conoce como onda frontal. Se forma un ciclón extratropical que se mueve a lo largo del frente. La circulación del aire tiende a producir una deformación ondulatoria en el frente.

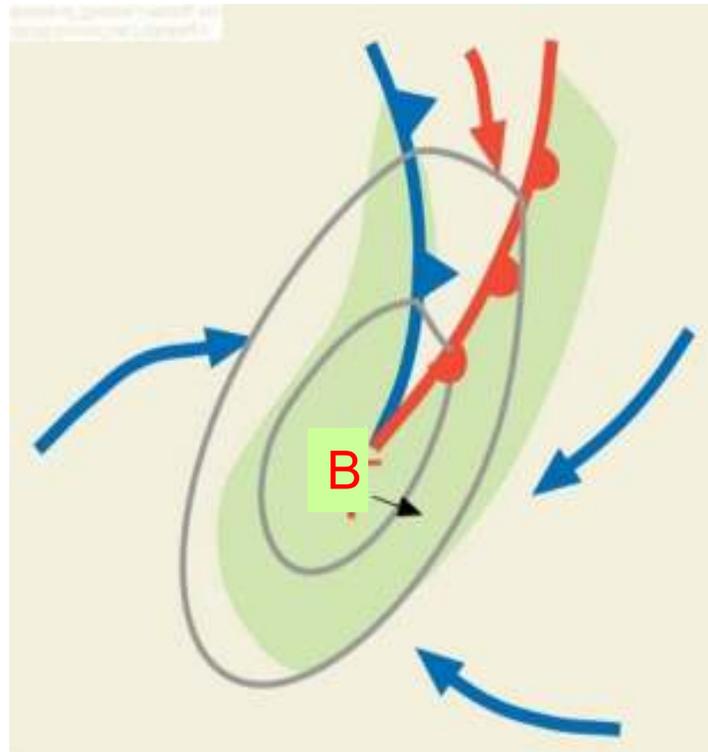
Paso 3



La masa de aire polar penetra más hacia el norte junto con su frente frío, mientras que la tropical hace lo propio junto con su frente cálido. El sistema se mueve hacia el E o SE y se desarrolla una “onda abierta” en 12-24 horas.

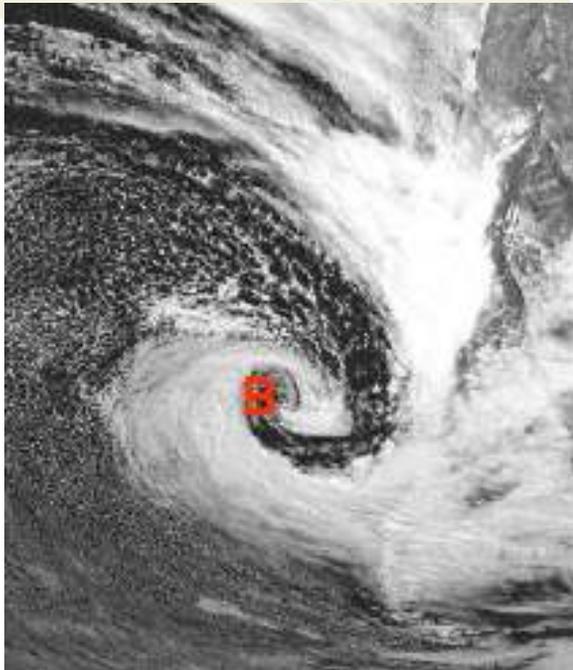
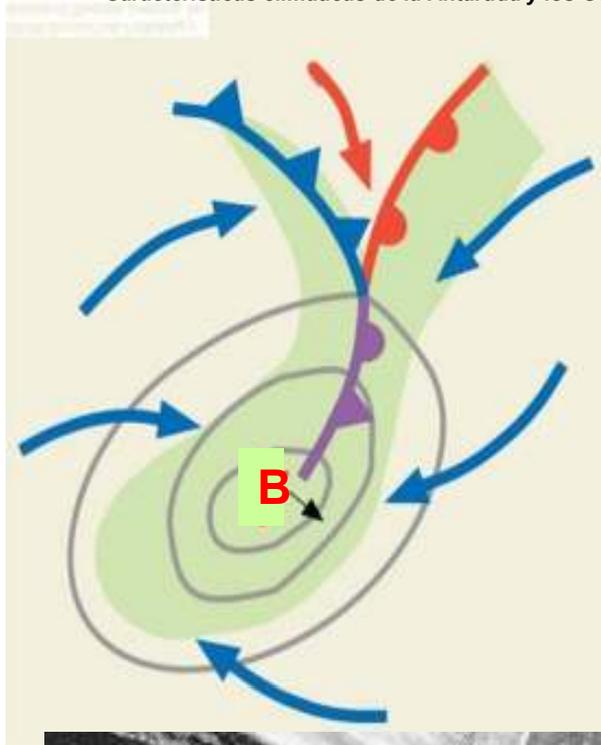
“**Onda abierta**”: es el estado de desarrollo de una onda ciclónica donde existen un frente frío y otro caliente. El centro de mínima presión de la onda se ubica en la unión de ambos frentes.

Paso 4



La presión central es todavía menor y varias isobaras cerradas rodean la onda creando un flujo ciclónico mas intenso. La energía de la tormenta se obtiene a partir del ascenso del aire cálido y la subsidencia del aire frío. La condensación provee energía en forma de calor latente. La convergencia del viento en superficie contribuye a que el sistema se intensifique. El frente frío avanza sobre el frente caliente.

Paso 5



En la fase final, el frente frío atrapa totalmente al cálido, reduciéndolo de extensión y aislándolo del resto del aire tropical, cesando de esta forma el aporte de humedad y energía desde el norte.

A medida que la onda abierta se mueve hacia el este, continua descendiendo la presión central y los vientos son más intensos.

El frente frío se mueve mas rápido y se acerca más al caliente. En este momento es la mayor intensidad de la tormenta, con precipitación cubriendo una gran área.

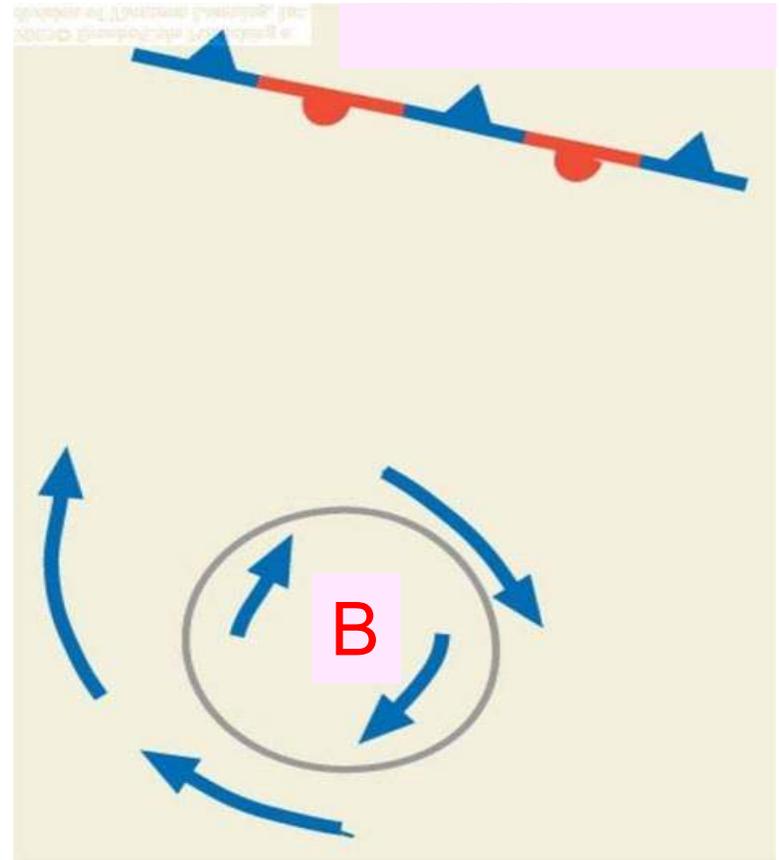
Paso 6

La tormenta intensa del paso anterior comienza a disiparse gradualmente debido a que ahora hay aire frío a ambos lados del ciclón.

Sin la provisión de energía a través del ascenso de aire cálido y húmedo, la tormenta se debilita y desaparece.

En ocasiones, puede formarse una nueva onda.

El ciclo de vida completo de una onda ciclónica puede durar entre algunos días a una semana.



Climatología de los ciclones

- Estadística Simmonds et al (2003, MWR)
- Reanálisis 2 NCEP-DOE.
- 1 Enero 1979 – 29 Febrero 2000 (cada 6 horas)
- Método de identificación de ciclones de la Universidad de Melbourne (Simmonds and Murray 1999, Wea. and Forecasting)
 - Transformación de los datos de presión a nivel del mar (interpolación bicúbica spline a proyección estereográfica polar)
 - Búsqueda de los máximos locales del laplaciano de la presión
 - Ubicación del mínimo de presión asociado (minimización elipsoidal)
 - Categorización de las bajas (abiertas o cerradas)
 - Ciclogénesis y ciclólisis

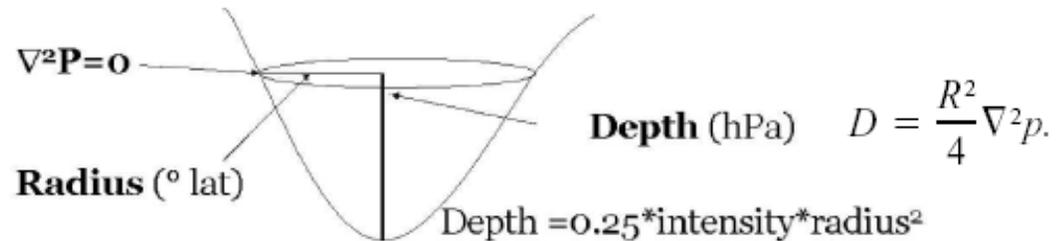
Parámetros de los ciclones y su determinación

(Lim and Simmonds, 2007, J. Climate)

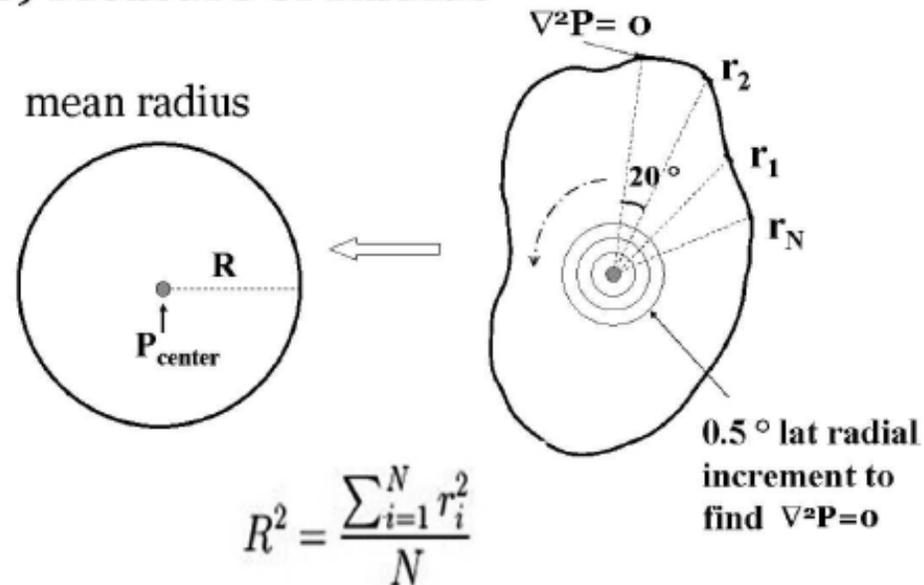
(a) Cyclone Features

System Density : the mean number of cyclones found in a 10^3 ($^\circ \text{ lat}$)² area

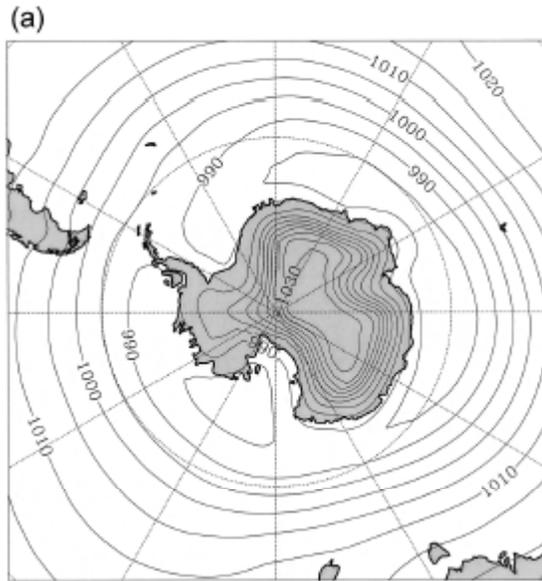
Intensity : $\nabla^2 P$ ($\text{hPa } (^\circ \text{ lat})^{-2}$)



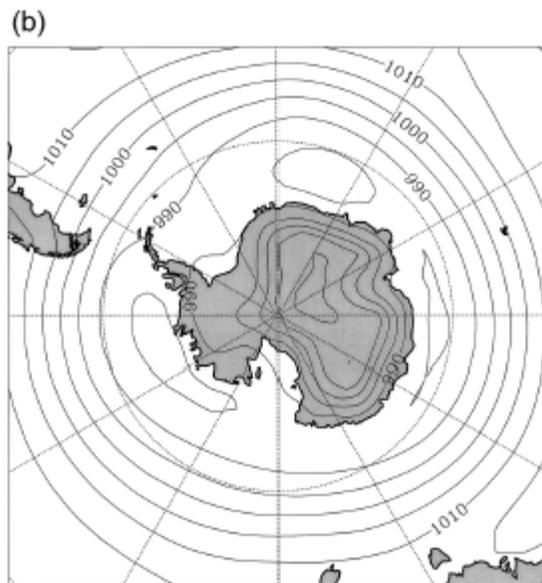
(b) Measure of Radius



Presión al nivel del mar media climatológica

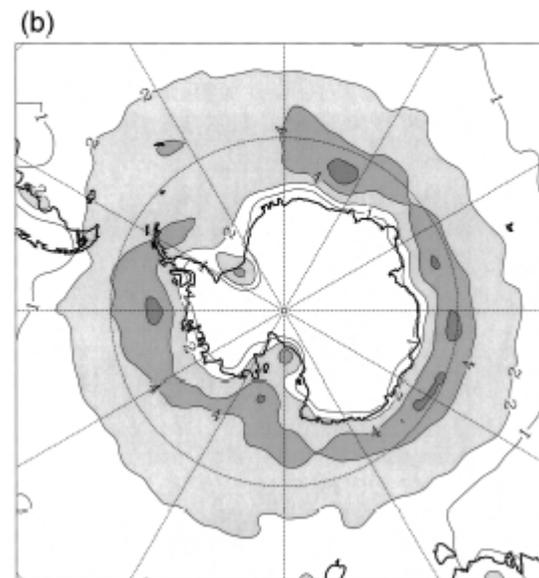
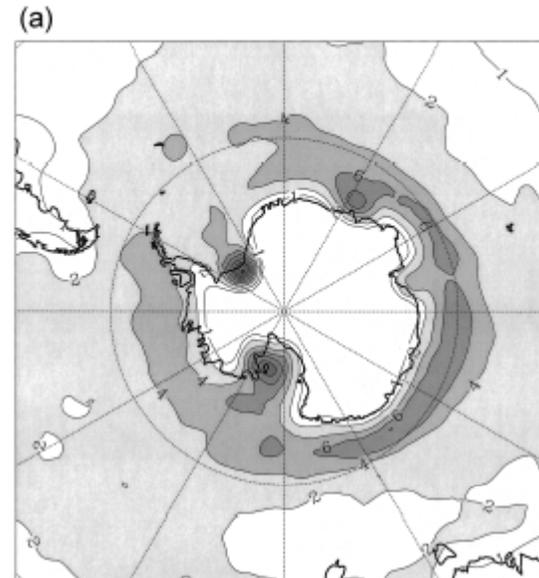


JJA

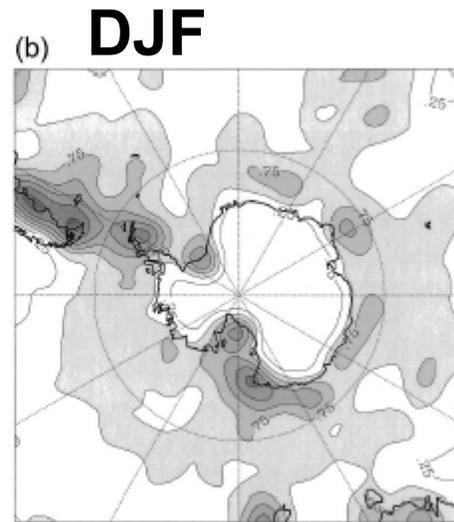
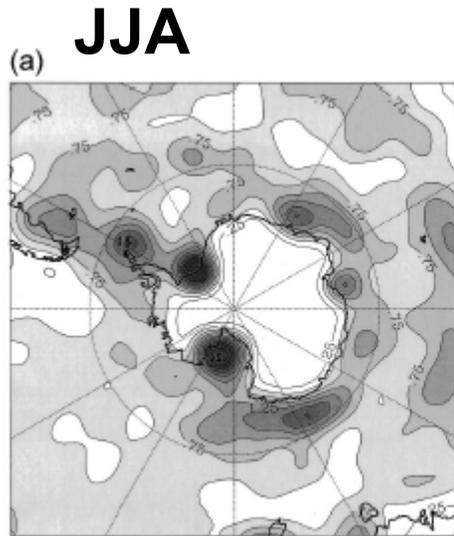


DJF

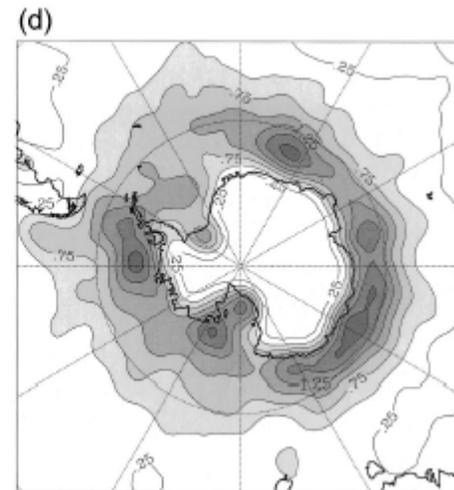
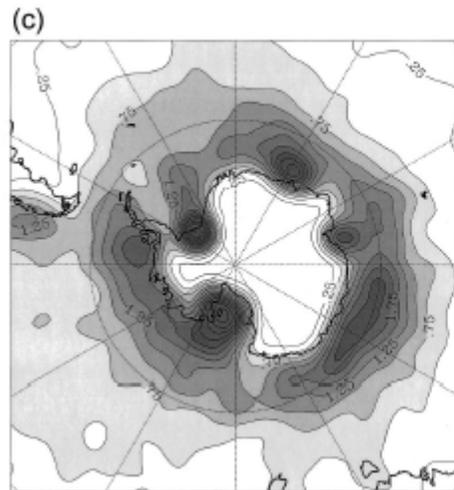
Densidad de ciclones (número medio de ciclones por 10^3 ($^{\circ}\text{lat}$)²)



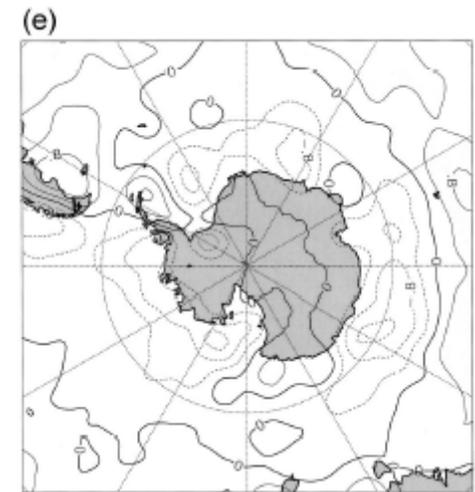
Densidad de
ciclogénesis



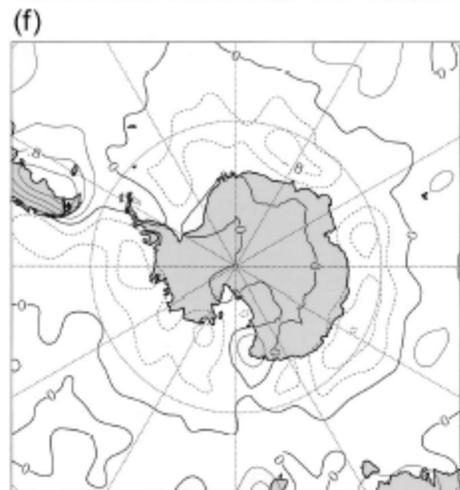
Densidad de
ciclólisis



Ciclogénesis - Ciclólisis



JJA



DJF

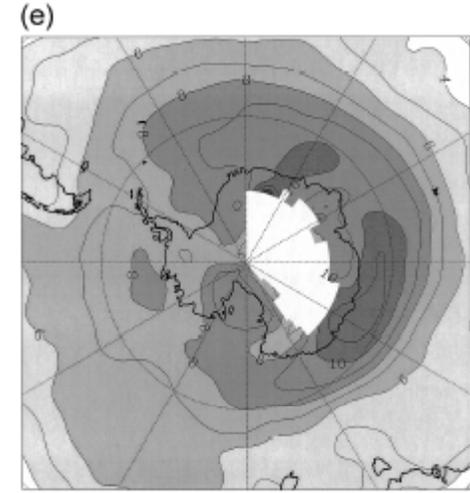
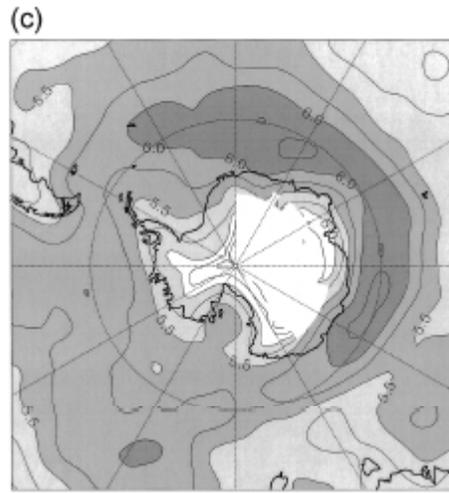
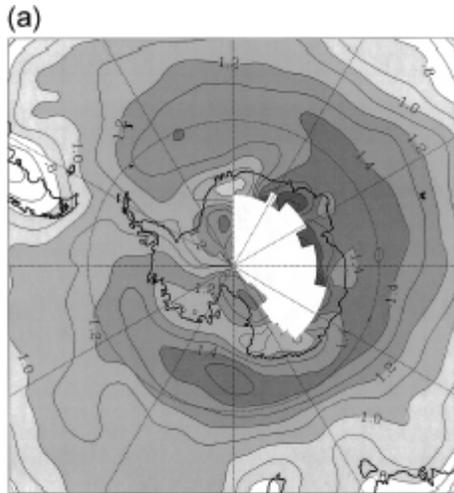
Características medias de los ciclones

Intensidad
media

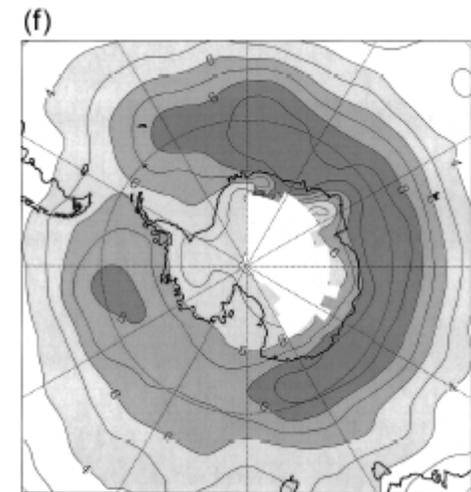
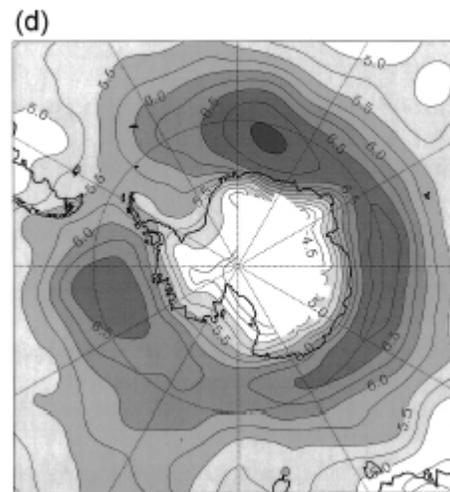
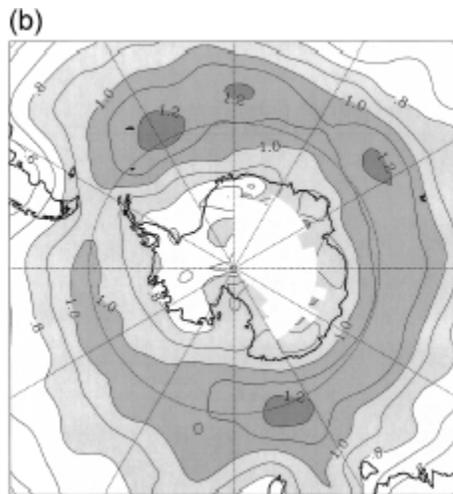
Radio medio

Profundidad
media

JJA

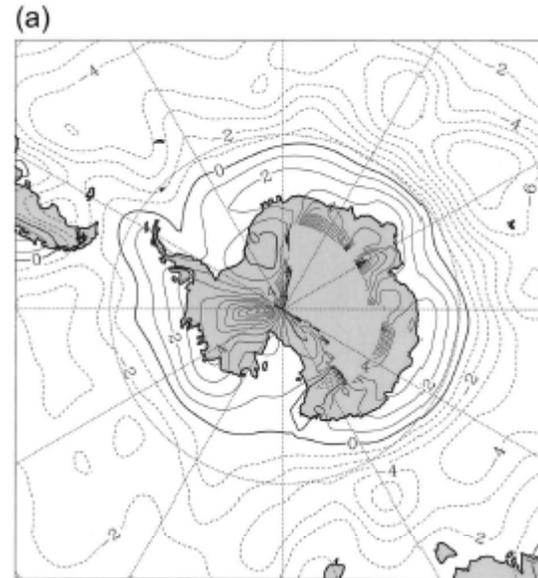


DJF

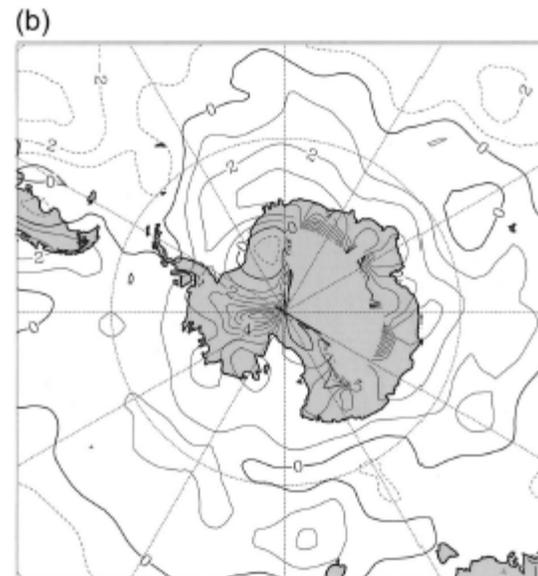


Tendencias lagrangianas

Tasa de cambio diaria
media anual de la
presión central
(hPa/día)



Tasa de cambio diaria
media anual de la
presión central
“corregida” p_r
(hPa/día)

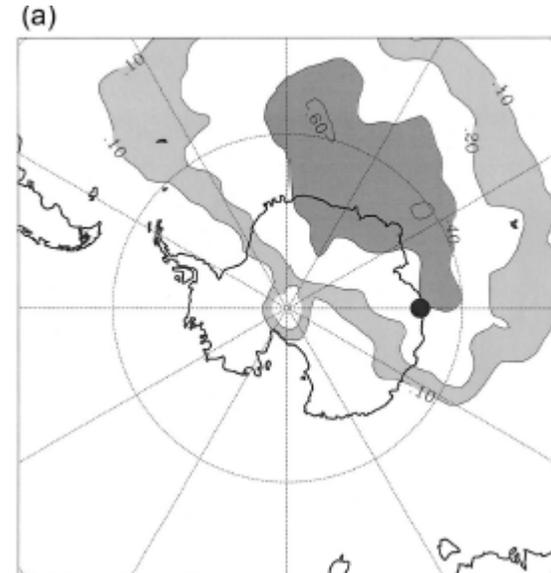


$$p_r = p_c(\lambda, \theta) - p_{\text{mean}}(\lambda, \theta, t),$$

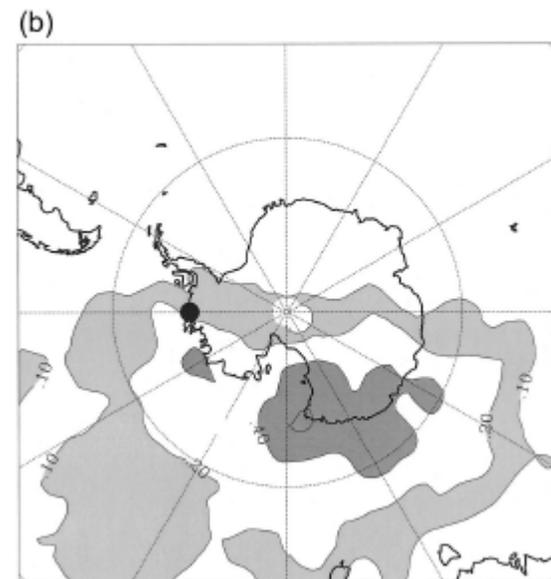
Origen de las trayectorias de los ciclones que alcanzan la costa

Frecuencia media de puntos de origen de todas las trayectorias de 4 días en 500 hPa que terminan en los puntos costeros:

67°S, 90°E



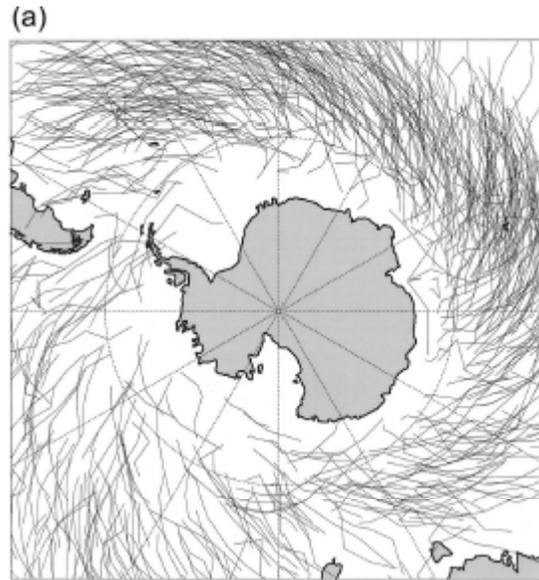
73°S, 90°W



“Bombas” meteorológicas en la región Antártica

Trayectorias de los ciclones explosivos (1979-99) que satisfacen:

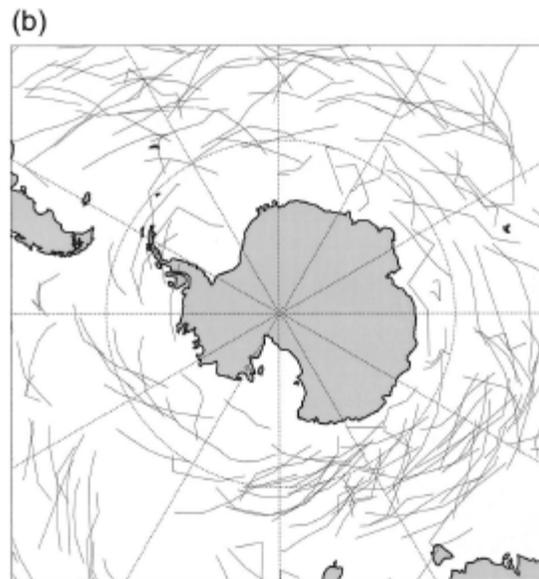
$$NDR_c = \left(\frac{|\Delta p_c|}{24 \text{ h}} \right) \left(\frac{\sin 60}{|\sin \theta|} \right),$$



Número medio estacional de bombas entre 40°S-70°S

	DJF	MAM	JJA	SON
NDR_c	12.6	24.5	31.6	24.4
NDR_r	2.5	4.6	7.8	4.5

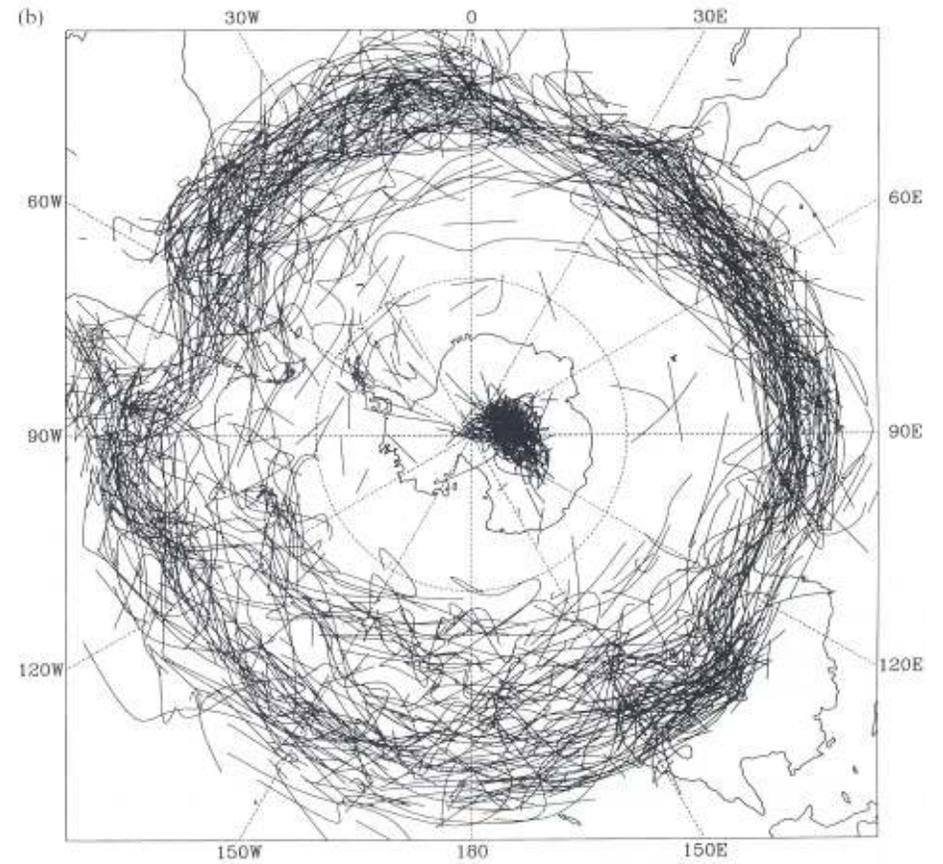
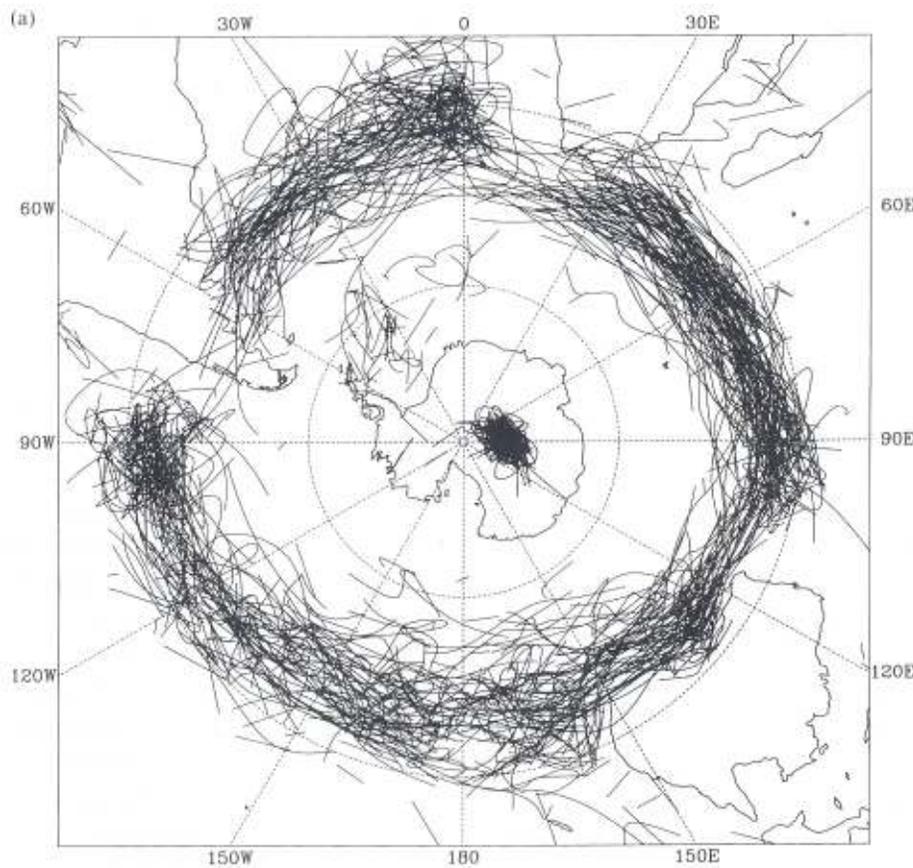
$$NDR_r = \left(\frac{|\Delta p_r|}{24 \text{ h}} \right) \left(\frac{\sin 60}{|\sin \theta|} \right).$$



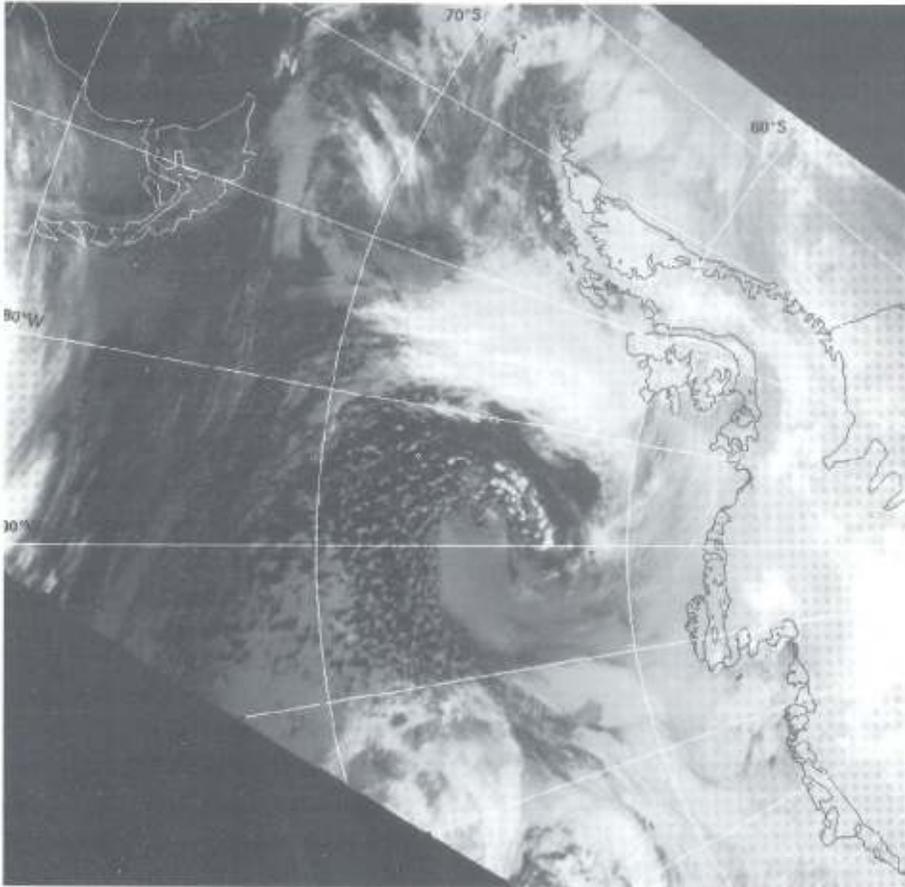
Trayectoria de los anticiclones (1985-1989)

DJF

JJA

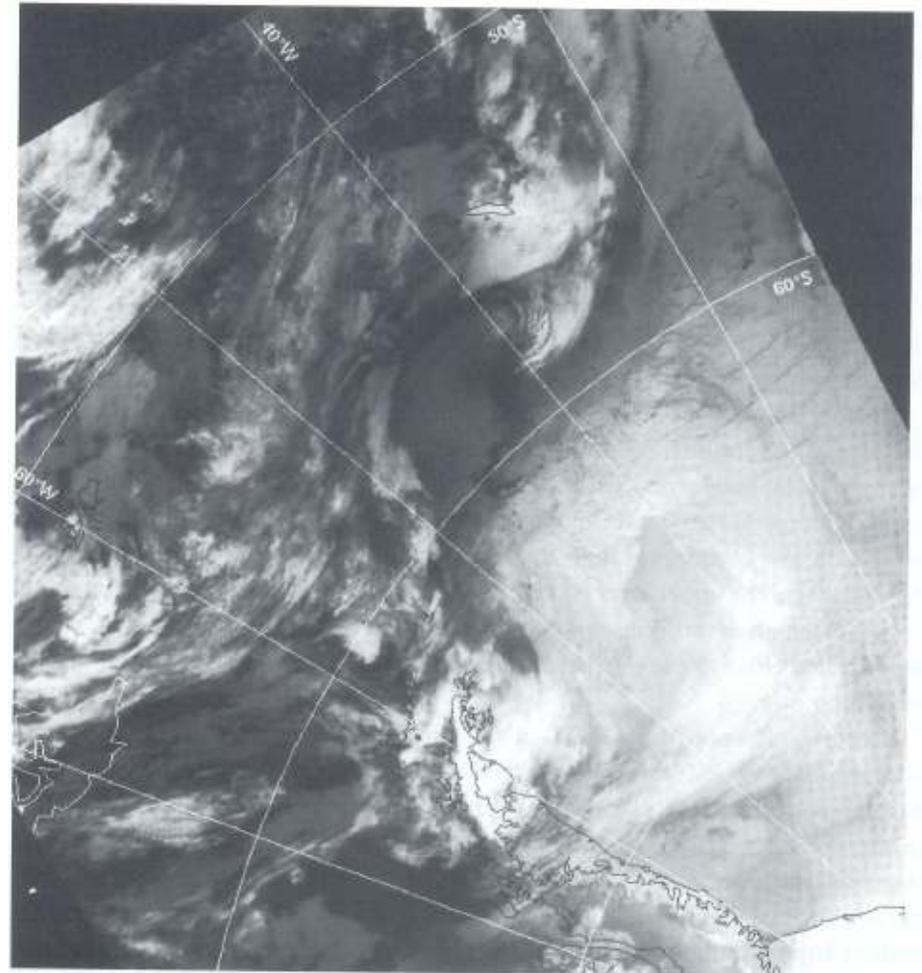


Desarrollos frontales



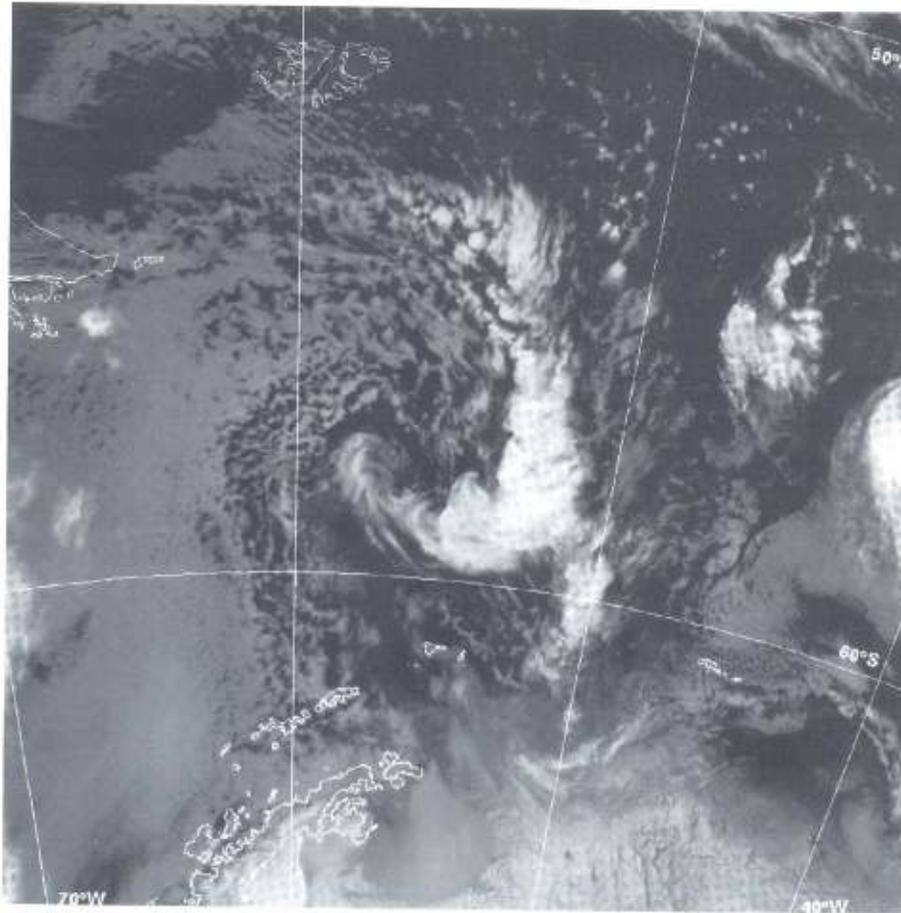
Depresión activa en el mar de Bellinghausen

1122GMT 28 Abril 1993



Depresión de escala sinóptica débil que se formó justo en el borde del hielo marino en el Mar de Weddell. 6:21GMT 18 Sept. 1993

Ciclogénesis en aire frío



Sistema de baja presión de escala sinóptica desarrollándose en una irrupción de aire frío sobre el mar de Bellinghausen. 19:41 GMT 5 Junio 1993

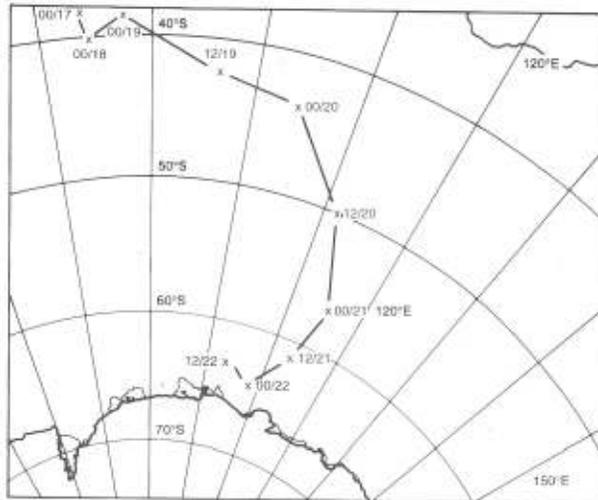
Forzante topográfico



Depresión que se formó a sotavento de la barrera topográfica de la península antártica. 21:14 GMT 4 Diciembre 1993

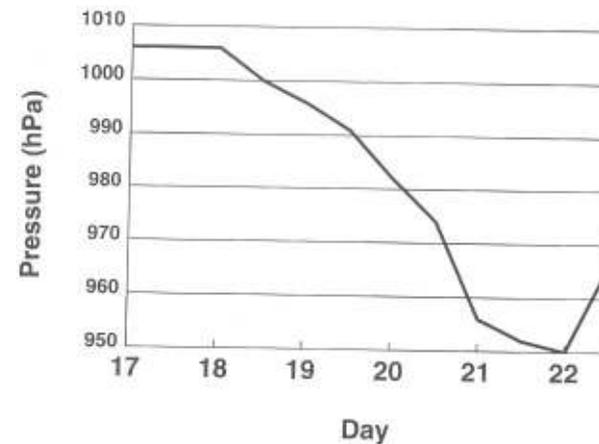
Depresiones profundas en la Antártida

Estudio de un caso 17-22 de Marzo 1992

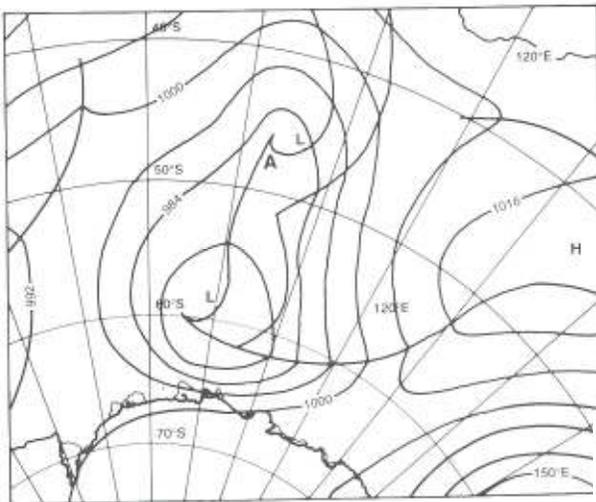


Trayectoria de una baja que dio lugar a vientos intensos en la estación Casey (Australia)

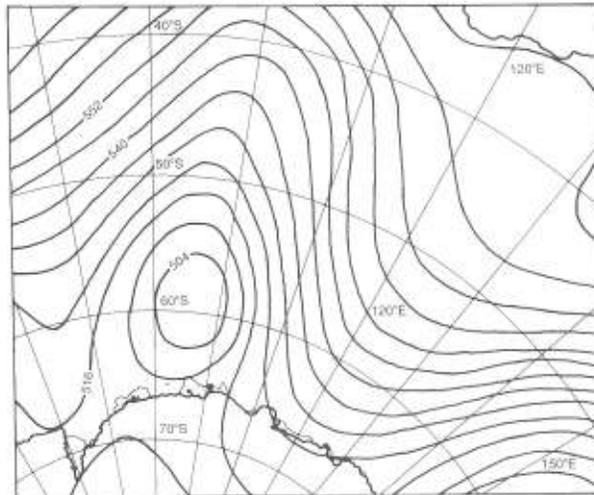
Presión central de superficie de la baja que afectó Casey en función del tiempo



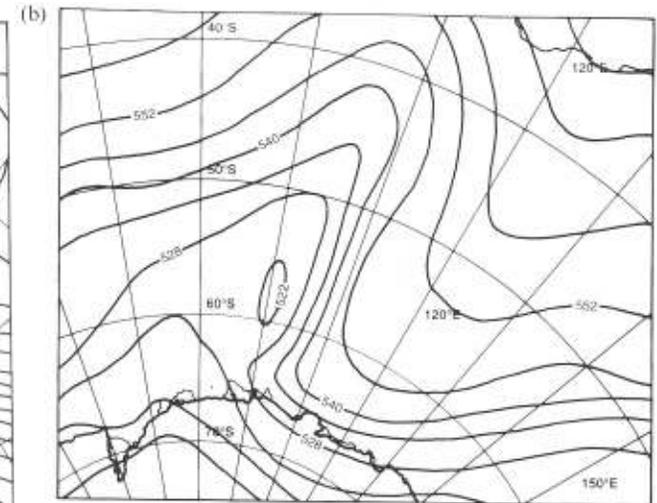
Presión de superficie
00GMT 20/3/92



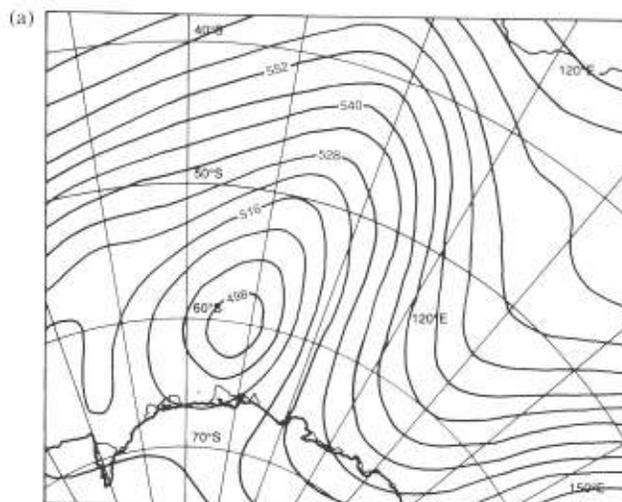
Altura geopotencial en
500 hPa 00GMT 20/3/92



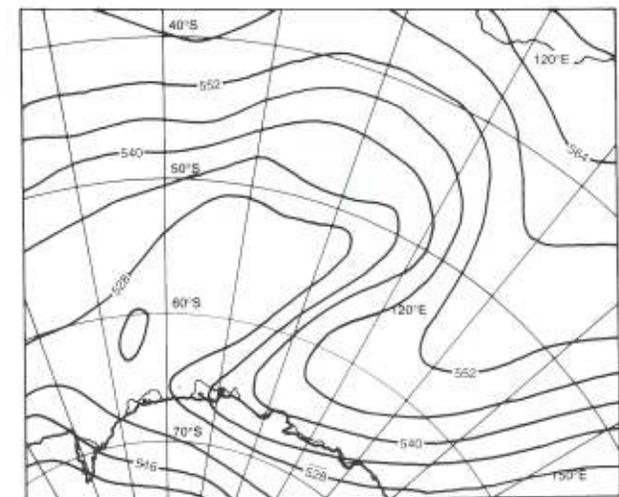
Espesores 1000/ 500 hPa
12GMT 20/3/92



Altura geopotencial en
500 hPa 12GMT 20/3/92



Espesores 1000/ 500 hPa
00GMT 21/3/92



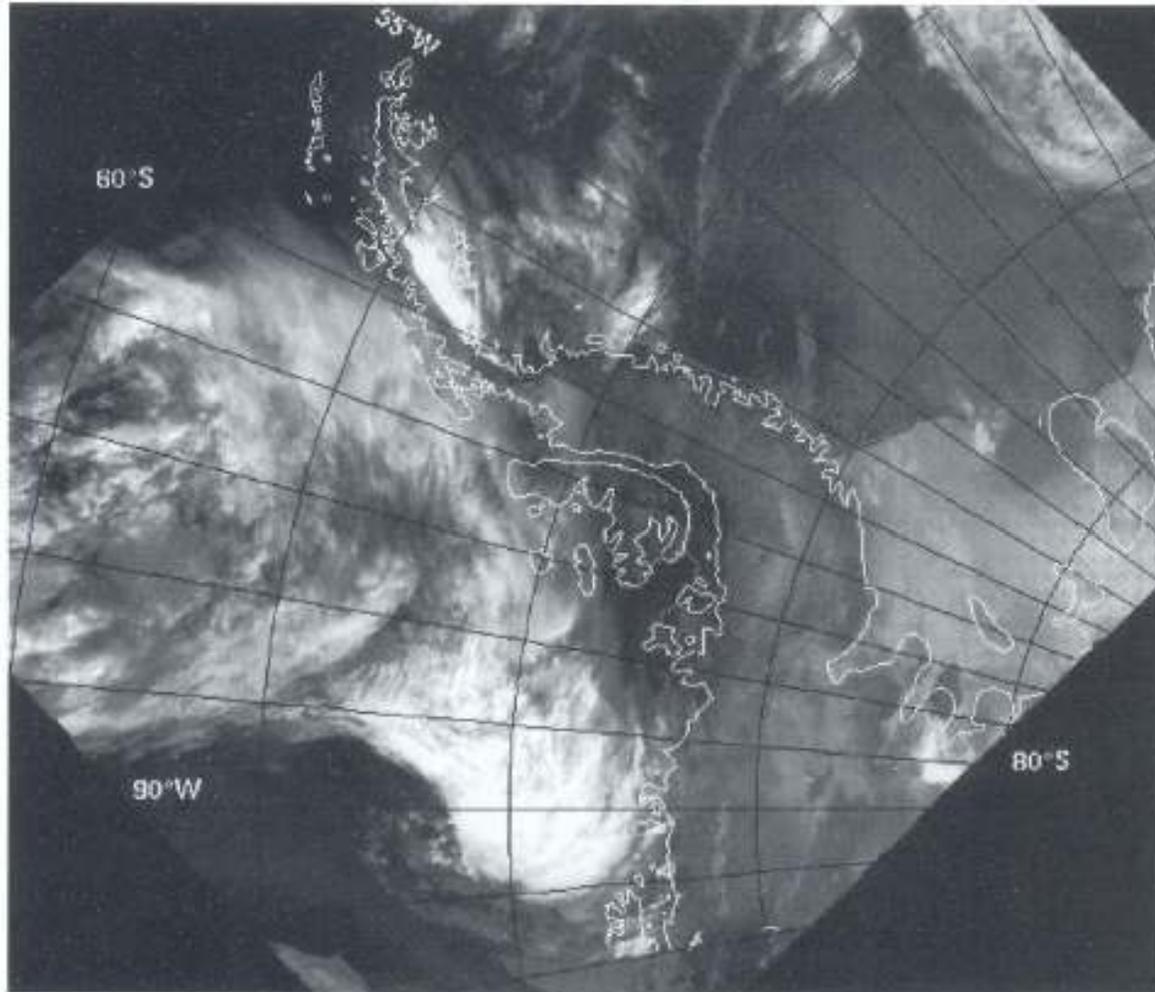
Espesores ~ Temperatura

Depresiones sobre el continente



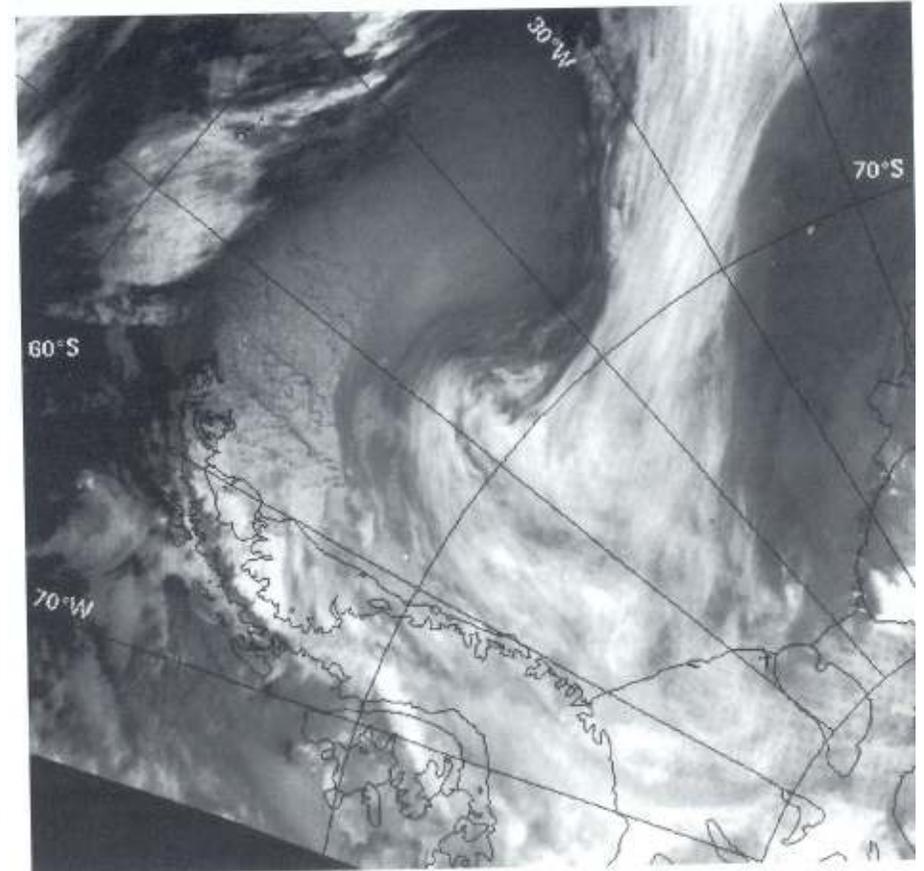
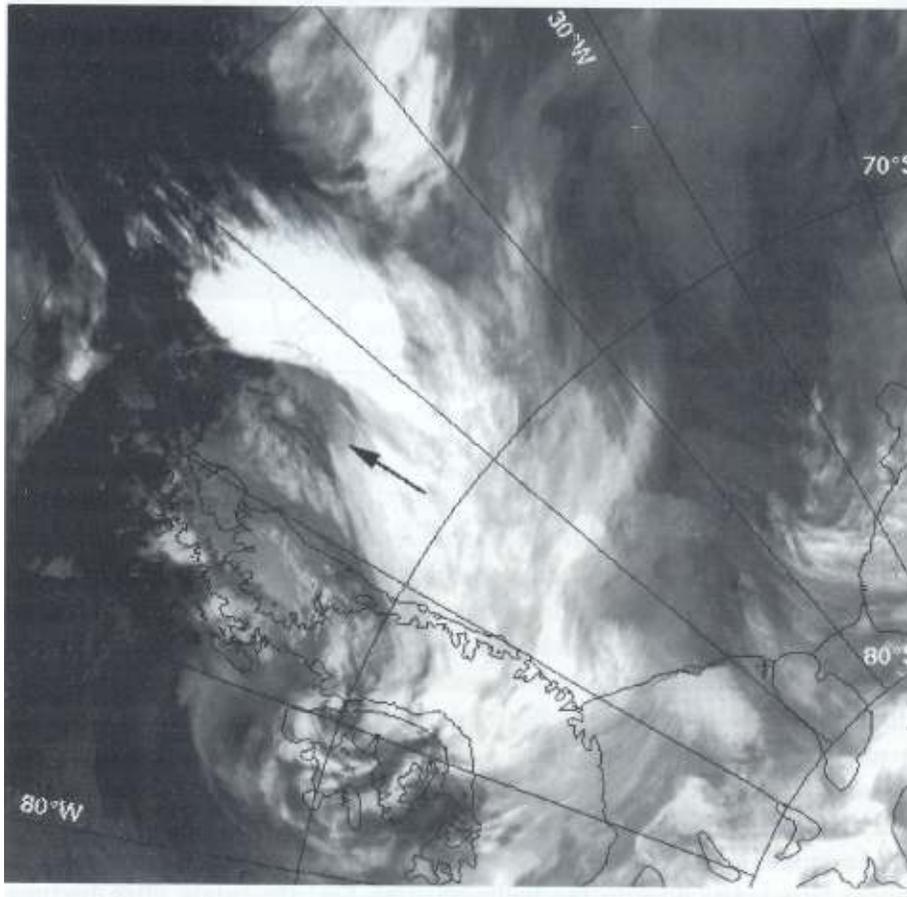
Ubicación del frente frío que atravesó Marie Byrd Land, Antártida del Oeste entre el 25 y el 26 de Mayo de 1988

Frentes



Un caso de sistema frontal activo sobre el mar de Bellinghousen el 1 de Marzo de 1993 10:23 GMT

Frentes



Ciclogénesis a sotavento de la península Antártica sobre una banda frontal pre-existente el 31 de Julio 1994

2:34GMT

21:00GMT

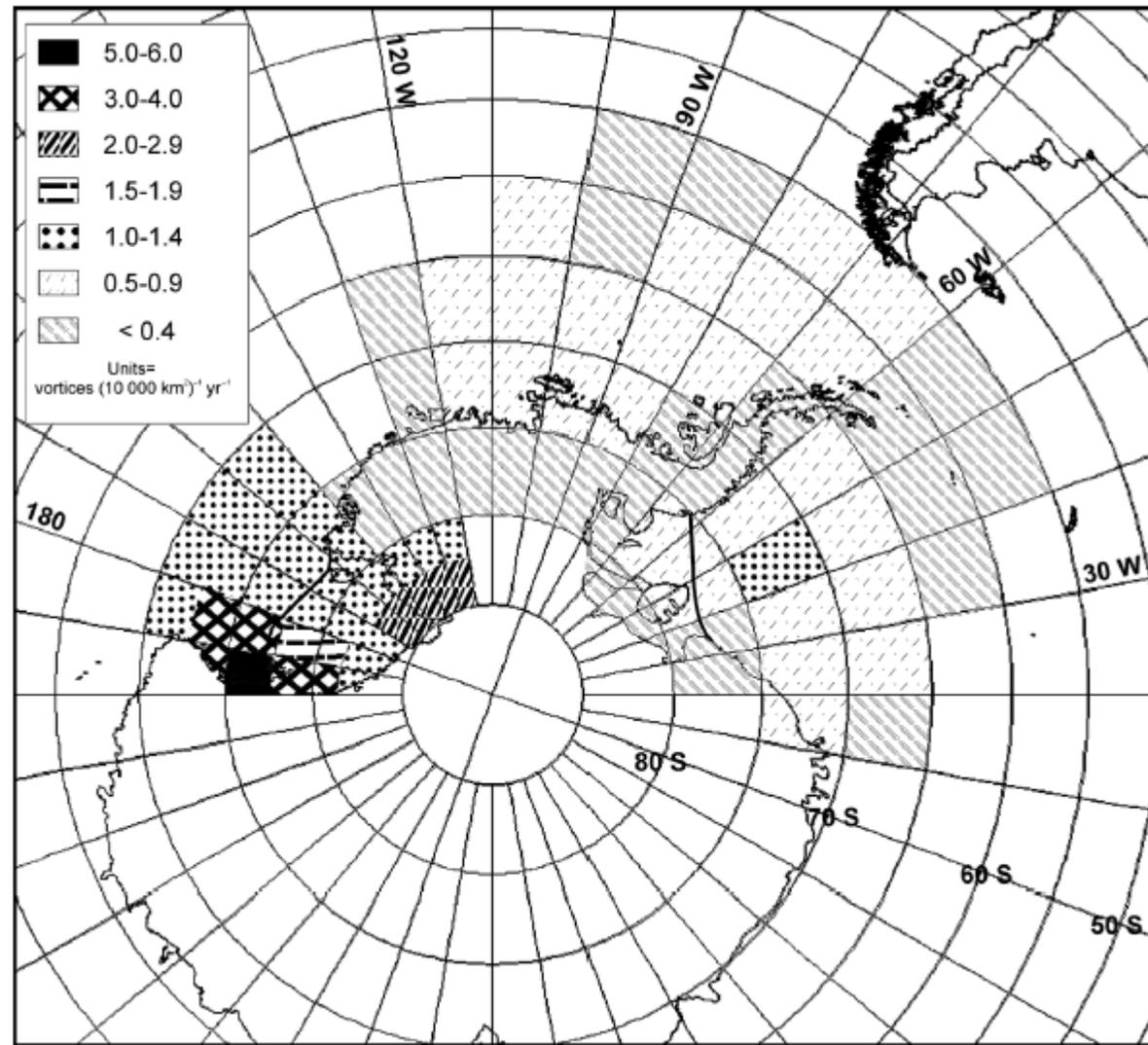
Mesociclones en la Antártida y los Océanos del Sur



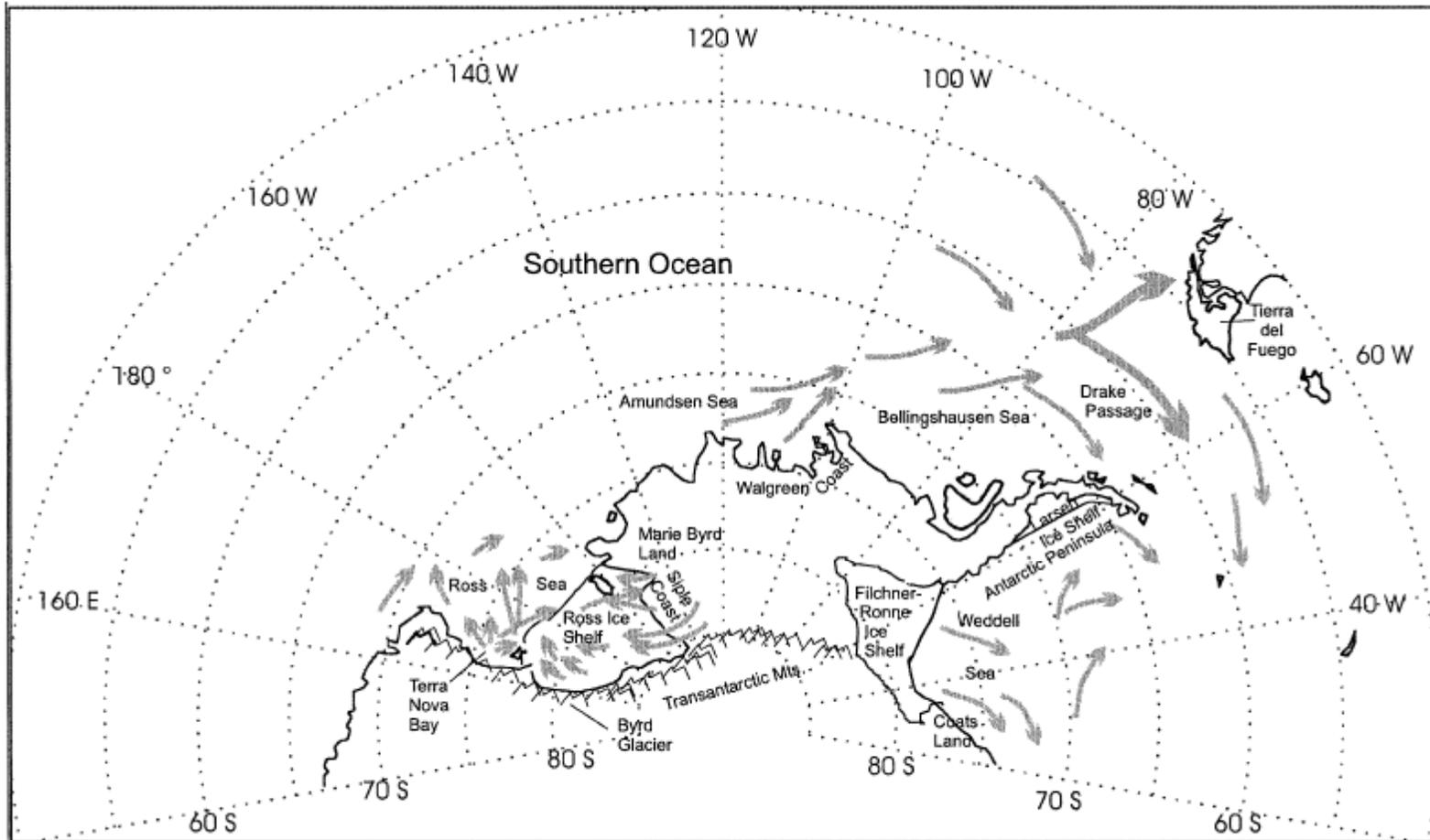
Regiones de ocurrencia

Distribución Anual por unidad de área de todos los mesociclones detectados en la región de estudio en 1991.

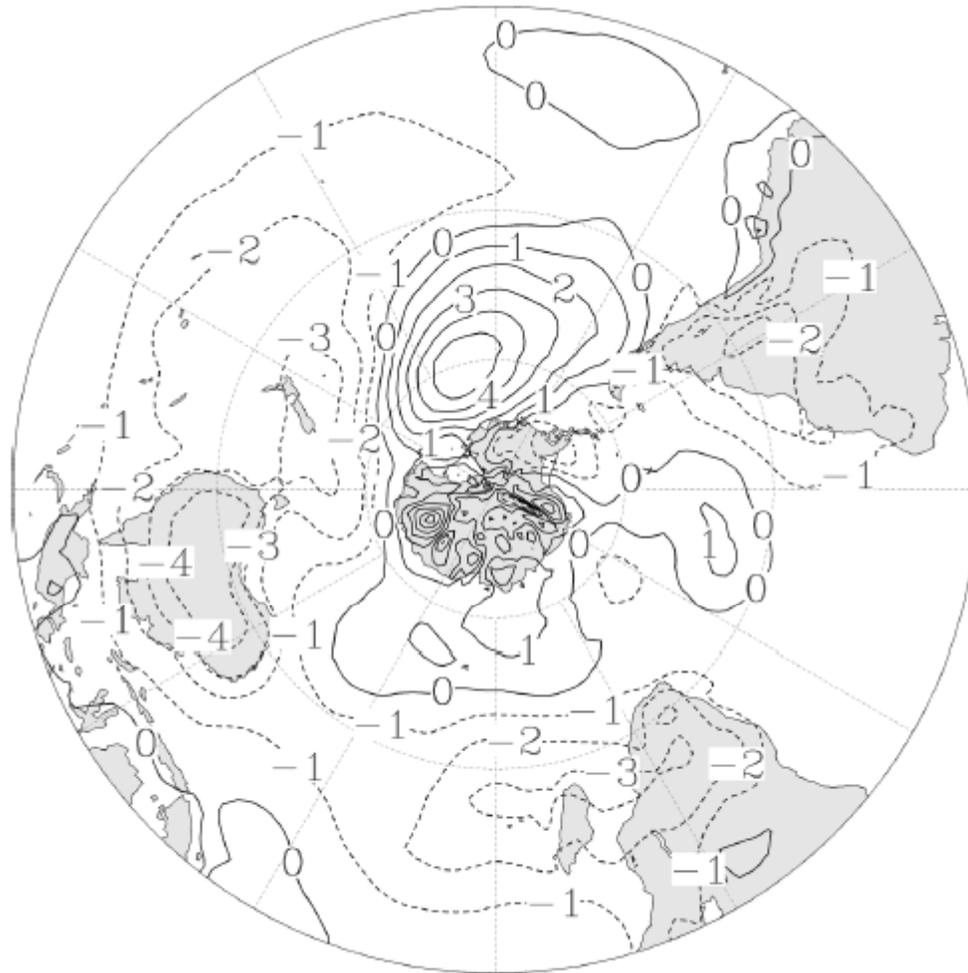
(Unidades: vórtices / (10⁴ km² x año)



(Carrasco et al. 2003)



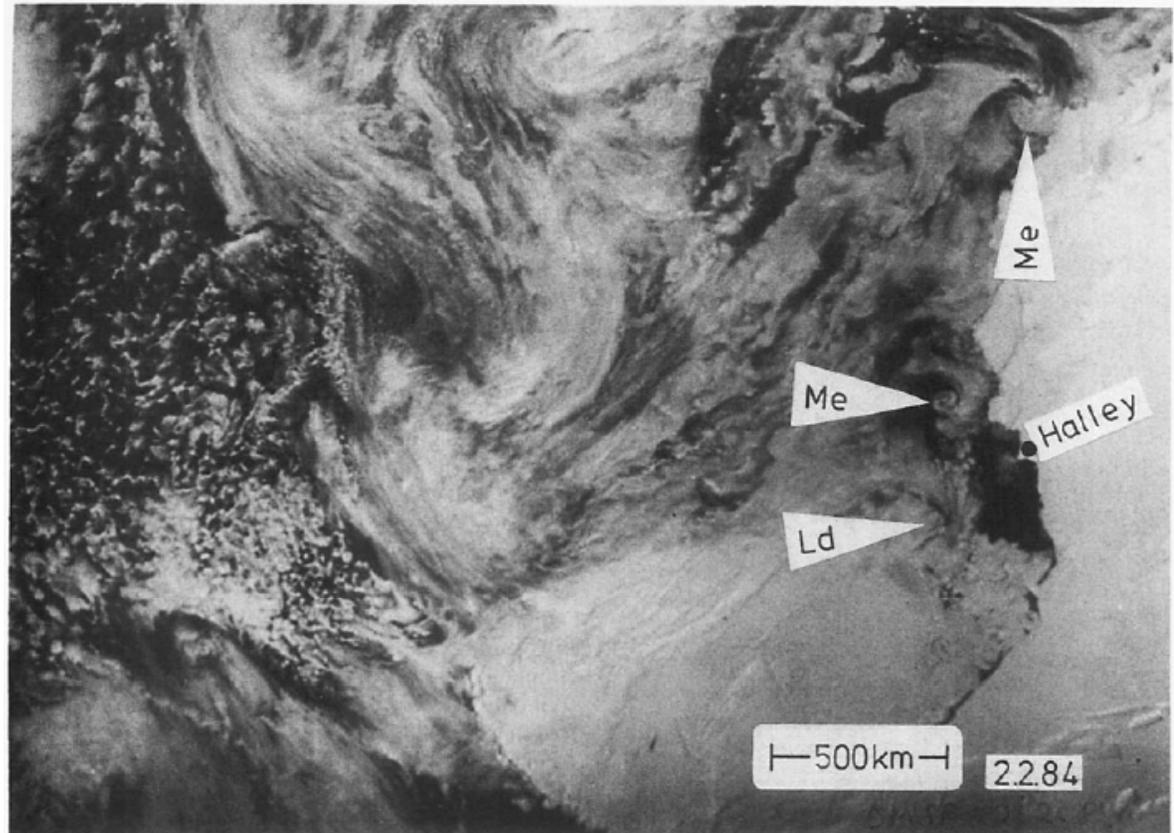
Descripción de todas las trayectorias de los vórtices observados en 1991



Anomalías medias de presión al nivel del mar para 1991 en relación al promedio 1985-1998 (ERA-40). Contornos cada 1 hPa.

Tamaño:

- 100-1000km
- ~200-270 km
Glaciar de Byrd
- ~370km
Península
Antártica

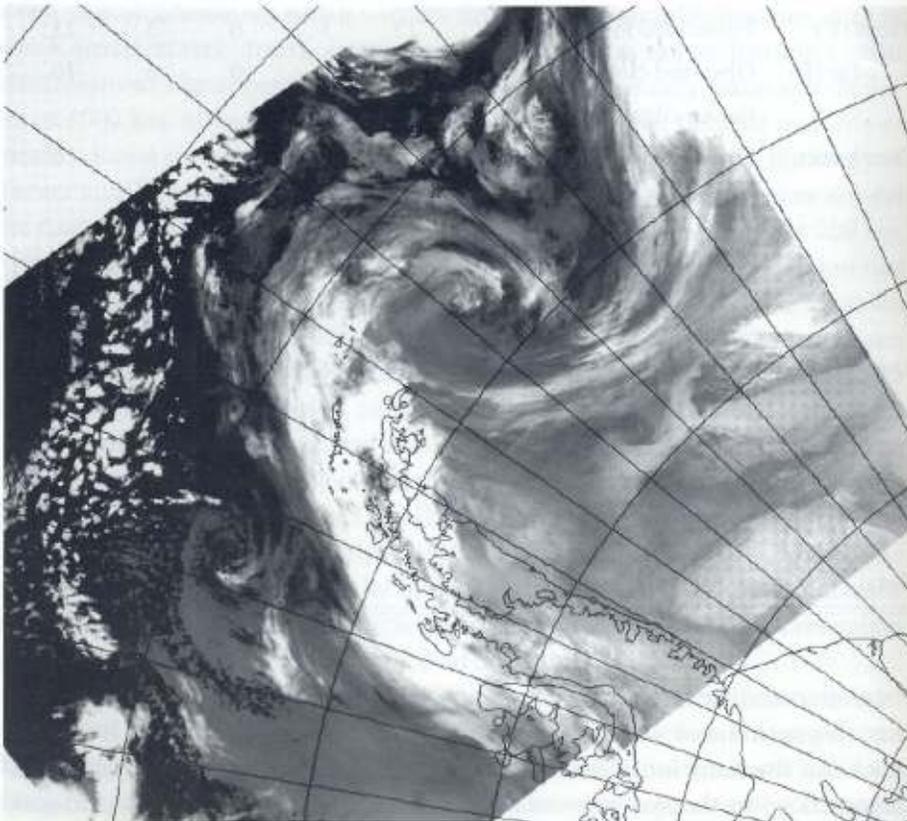


Duración:

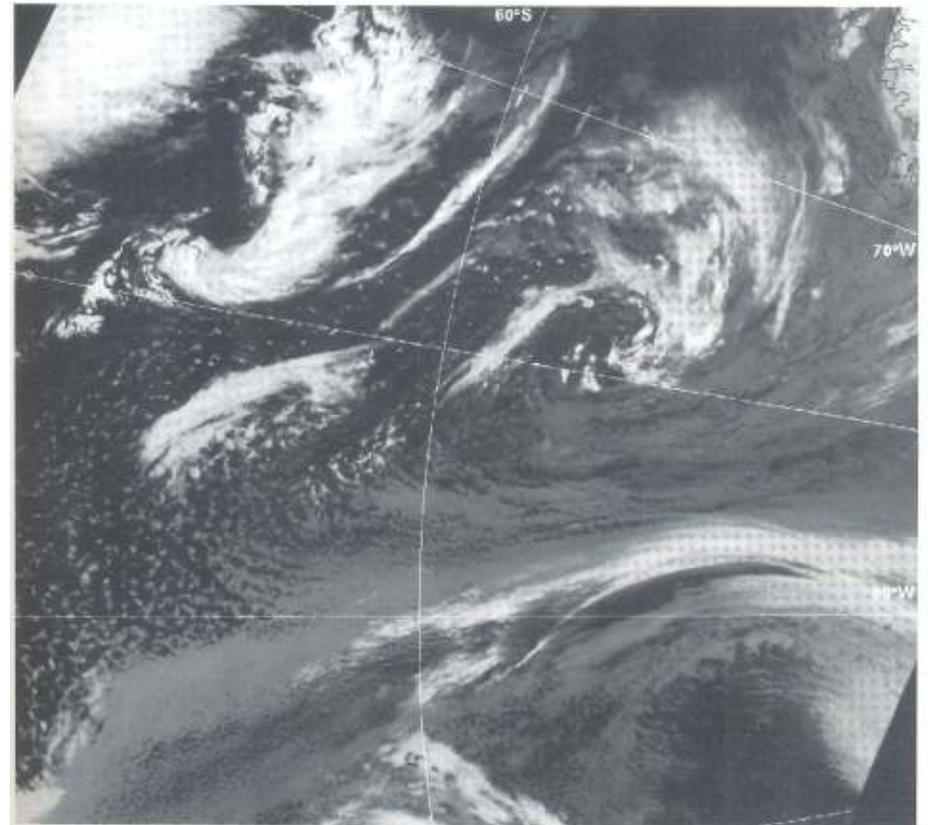
- Menos de 1 día
- Horas-raramente varios días.

Formaciones nubosas asociadas con mesociclones

Espiraliforme



Comma-Cloud



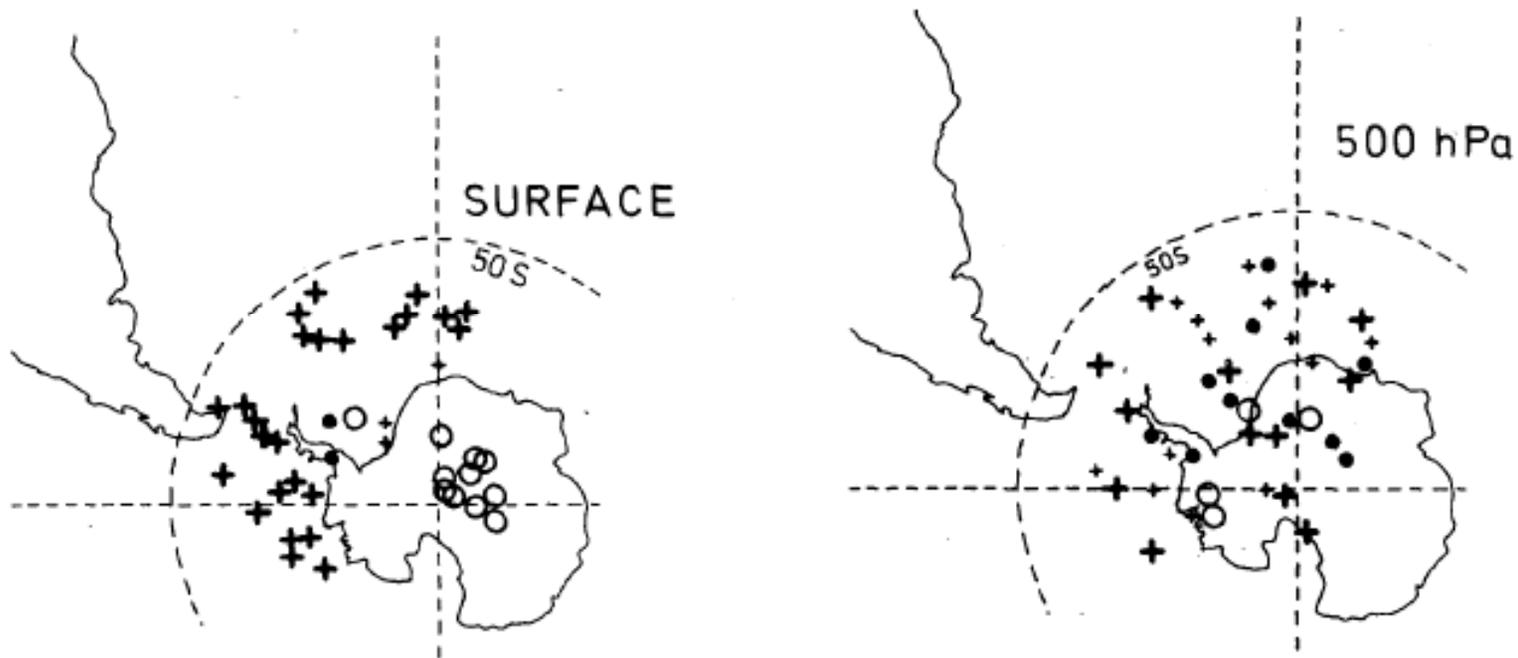
Intensidad:

(Carrasco et al. 2003)

- Vórtices más profundos en el sector de Bellinghausen

- Más débiles en los mares de Ross y Weddell

Señal de los mesociclones en superficie y altura

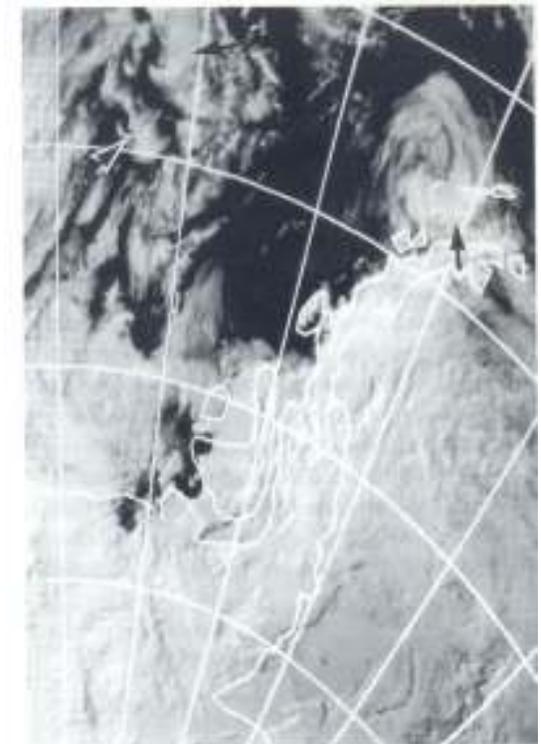
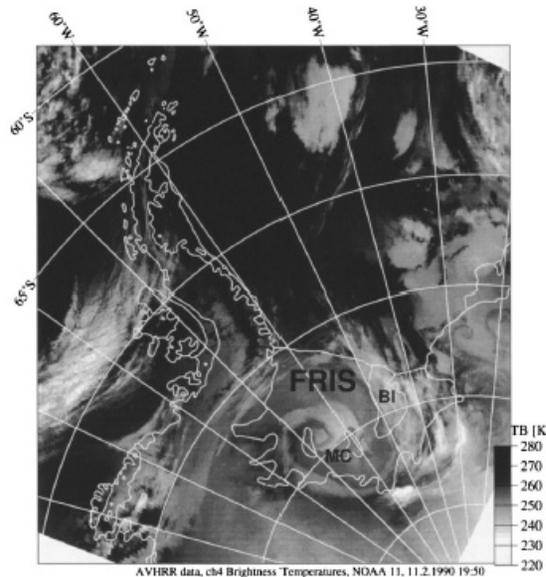


Distribución de centros de presión para mesociclones cerca de Halley Station. (+) Centros de baja presión con isobara cerrada, (o) centros de alta presión con isobara cerrada, (+, .) centros de baja y alta presión sin isobara cerrada

Mecanismos asociados con la formación de ciclones.

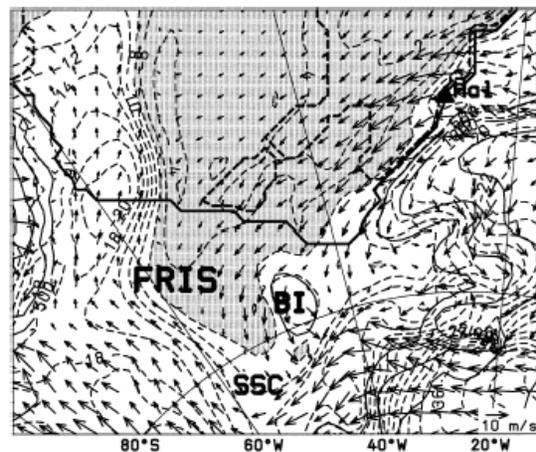
Advección de aire frío y/o caliente

Mesociclón sobre la barrera de Filchner/Ronner el 11/2/90



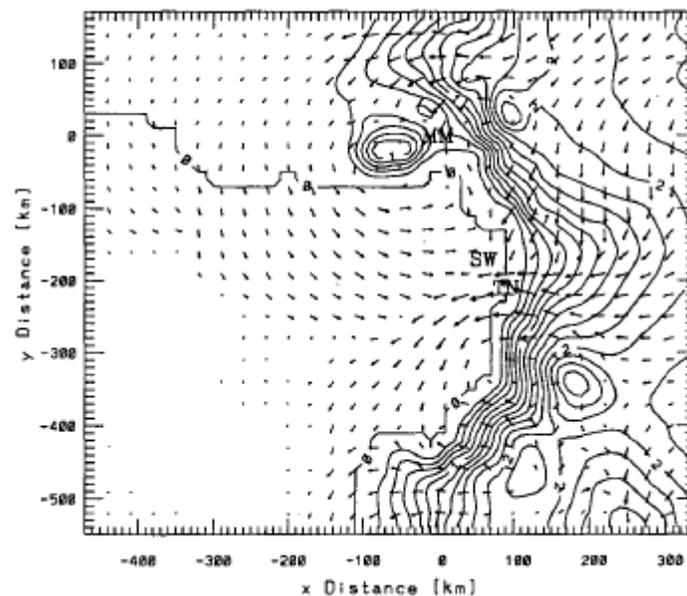
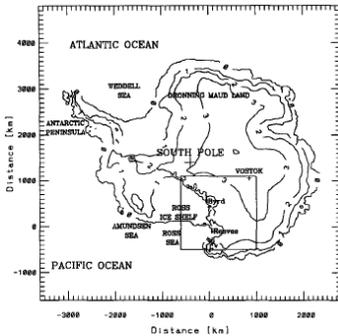
Series de vórtices generándose en la zona de advección fría de una baja sinóptica

Vectores viento e isotermas simuladas cerca de superficie



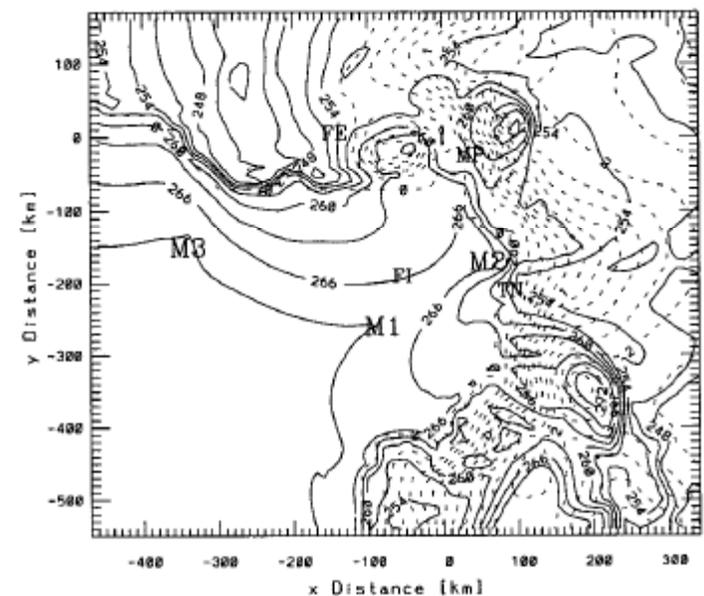
Mecanismos asociados con la formación de ciclones.

Gradientes horizontales de temperatura en niveles bajos



Vientos catabáticos simulados (48 horas de integ.) a 10 m de altura, asumiendo océano libre de hielo. Contornos de elevación de la barrera de hielo

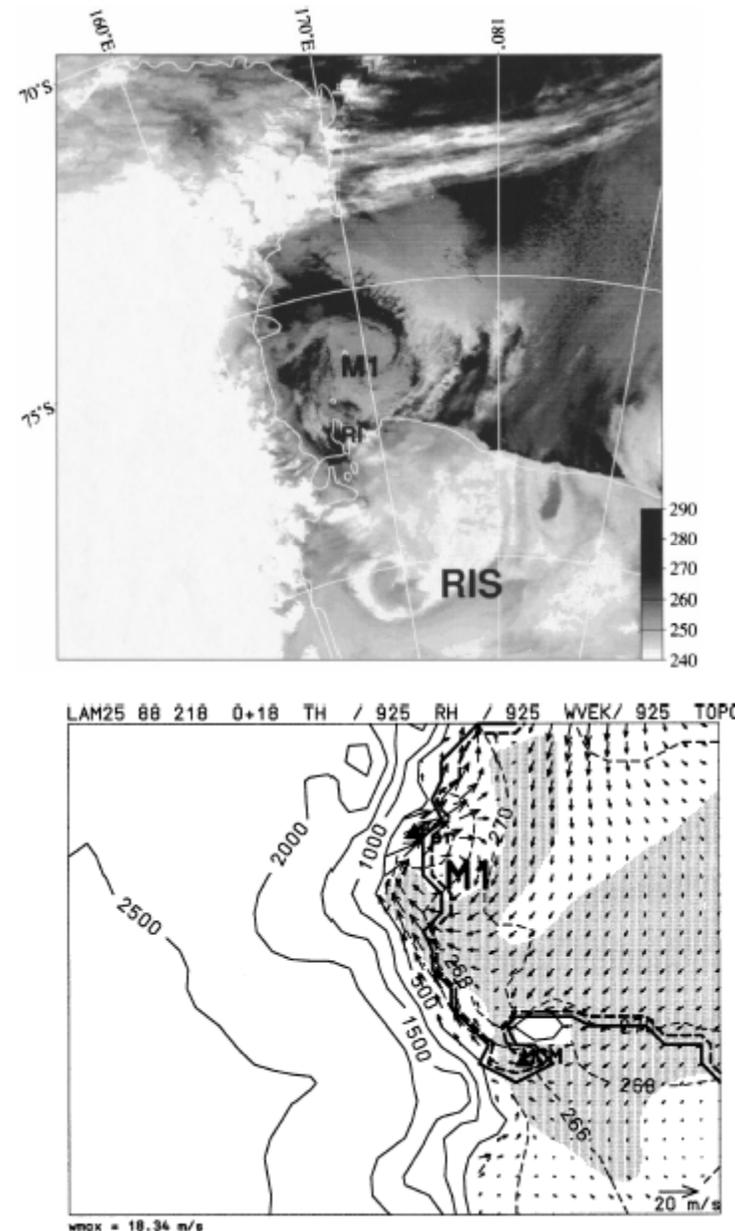
(Gallée 1995)



Temperatura potencial simulada (48 horas de integ.) a 10 m de altura

Mecanismos asociados con la formación de ciclones.

- Fuerte gradiente topográfico da lugar a vientos catabáticos
- A medida que se mueven pendiente abajo promueven convergencia del aire e intensificación de la circulación ciclónica
- Presencia de polinias costeras o regiones de mar abierto cerca de la costa proporcionan un ambiente con flujos de calor sensible y latente intensificados
- Forzante de gran escala intensifica los mecanismos que resultan en mesosistemas mas vigorosos



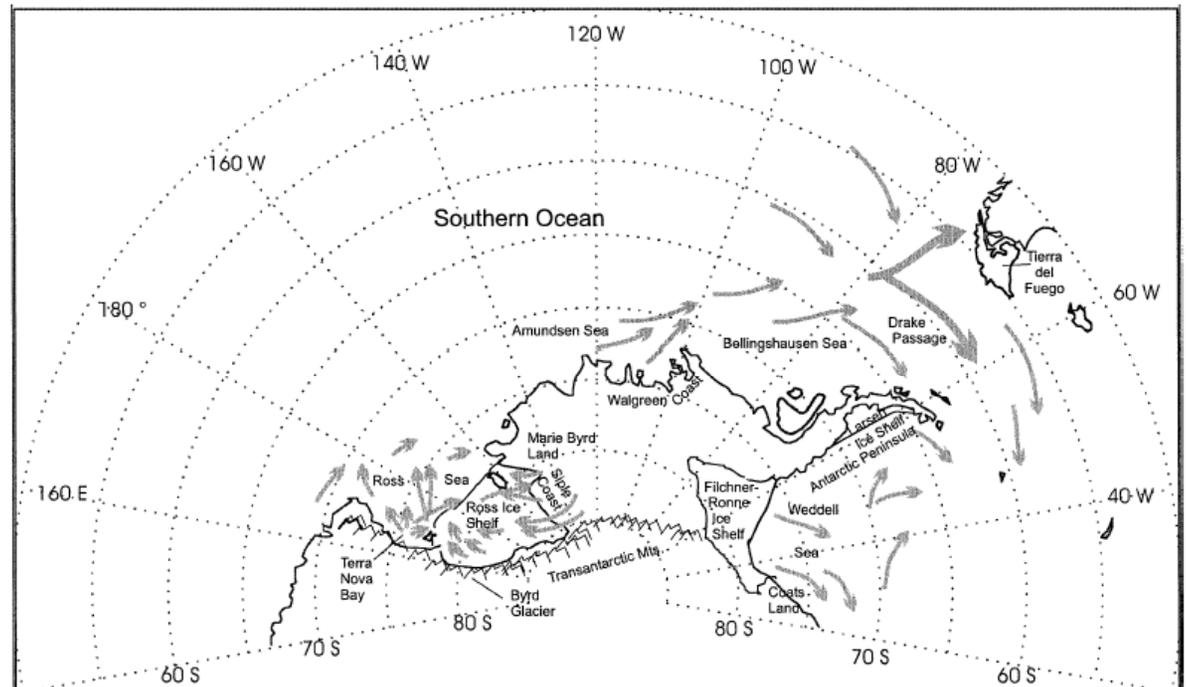
Mesociclones y la precipitación

Región del Mar de Ross:

- 38% de la precipitación en McMurdo está asociada con vórtices de mesoescala
- Mesociclones contribuyen con nieve sobre las montañas transantárticas

Península Antártica:

- ~40% de la precipitación asociada con mesociclones y/o ondas sinópticas



Interacción ciclón-hielo marino

- Ciclones y el hielo marino pueden interactuar en varias y complejas maneras:
 - Áreas de hielo marino de baja concentración → resultan en grandes flujos de calor (latente y sensible) a la atmósfera → favorece el desarrollo de ciclones
 - Fuertes vientos asociados con ciclones → cambian la distribución de hielo marino (advección y tensiones en la sup. sup. del hielo). También impactan en la tasa de pérdida de calor en las salientes del hielo, y en consecuencia en la tasa en que el agua en ellas se recongela

Referencias

- Simmonds, I., K. Keay, E. P. Lim, 2003: Synoptic Activity in the Seas around Antarctica. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 272-288
- Carrasco, J., D. Bromwich, A. Monaghan, 2003: Distribution and Characteristics of Mesoscale Cyclones in the Antarctic: Ross Sea Eastward to the Weddell Sea. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 289-301.
- Gallée, H., 1995: Simulation of mesocyclonic activity in the Ross Sea, Antarctica. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 2051–2069.
- Heinemann, G., 1990: Mesoscale vortices in the Weddell Sea region (Antarctica). *Mon. Wea. Rev.*, 118, 779–793.
- Heinemann, G., and T. Klein, 2003: Simulations of topographically forced mesocyclones in the Weddell Sea and the Ross Sea region of Antarctica. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 302–316.
- Turner, J., T. A. Lachlan-Cope, D. E. Warren, and C. N. Duncan, 1993: A mesoscale vortex over Halley Station, Antarctica. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 1317–1336.