

Masas de aire y frentes



Departamento de Ciencias de la Atmósfera
y Física de los Océanos

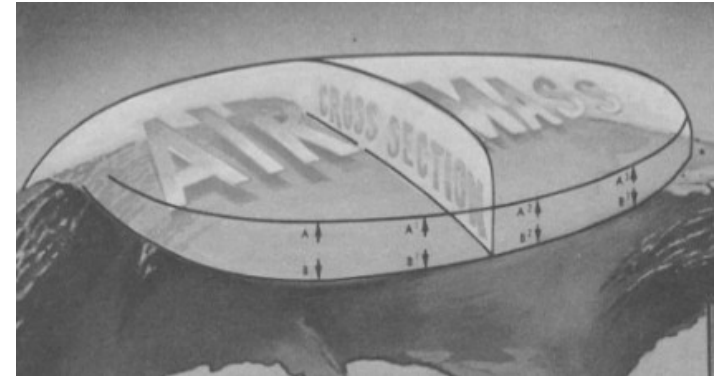
Climatología, 2025
Camila de Mello

MASAS DE AIRE

- OBJETIVO: Introducir los conceptos de masa de aire así como describir sus principales propiedades, estructura y clasificación.
- CONTENIDO
 - . Masas de aire
 - a) Qué son y cómo se forman
 - b) Clasificación de masas de aire y propiedades
 - c) Modificaciones en masas de aire

(a) Masas de aire: ¿qué son y cómo se forman?

- Masa de aire
 - Gran volumen de aire cuyas propiedades de **temperatura** y **humedad** se mantienen aproximadamente constantes en cualquiera de las direcciones horizontales, salvo en los extremos donde sufren un abrupto cambio.
 - Extensión espacial:
 - Horizontal: varios miles de km^2
 - Vertical: varios km a alguna decena de km



(a) Masas de aire: ¿qué son y cómo se forman?

Temperatura Potencial (θ)

Es la T que una parcela de aire seco a una Presión P y Temperatura T, tendría si fuera comprimida o expandida adiabáticamente hasta una P de referencia

$$\theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{\frac{R}{cp}} \quad \begin{array}{l} R/Cp \\ \text{aprox} \\ 0.286 \end{array}$$

$P_{ref}=1000\text{hPa}$

Es una cantidad conservativa de una parcela de aire que se mueve en la atmósfera bajo condiciones adiabáticas.

(a) Masas de aire: ¿qué son y cómo se forman?

Ejemplo

Considere una atmósfera de aire seco que en superficie, a una presión de 950 hPa registra una temperatura de 20 °C.

Si en 700 hPa la temperatura registrada en un radiosondeo es de 6°C, se podría tratar de la misma masa de aire que encontramos a 1000hPa?

$$\theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{\frac{R}{Cp}}$$

R/Cp
aprox
0.286

(a) Masas de aire: ¿qué son y cómo se forman?

Ejemplo

Considere una atmósfera de aire seco que en superficie, a una presión de 950 hPa registra una temperatura de 20 °C.

Si en 700 hPa la temperatura registrada es de 7°C, se podría tratar de la misma masa de aire que encontramos a 1000hPa?

$$\theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{\frac{R}{cp}} \quad \begin{matrix} R/Cp \\ \text{aprox} \\ 0.286 \end{matrix}$$

$$\Theta_1 = 294^\circ\text{K} (1000/1000)^{0.286}$$

$$\Theta_1 = 297^\circ\text{K}$$

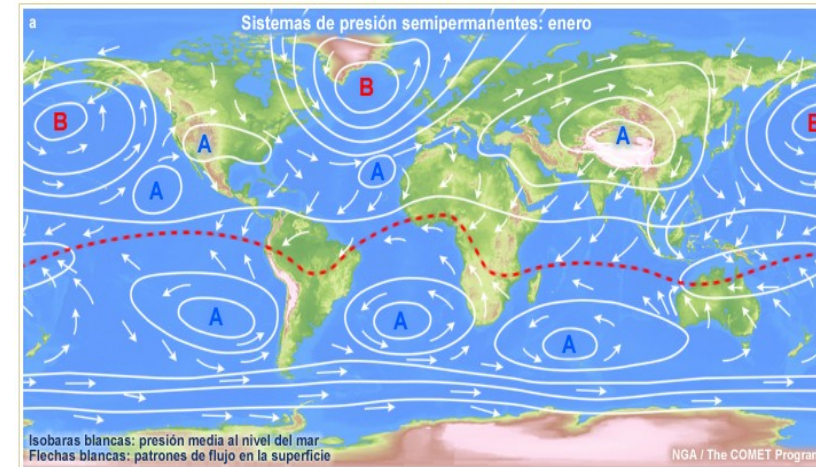
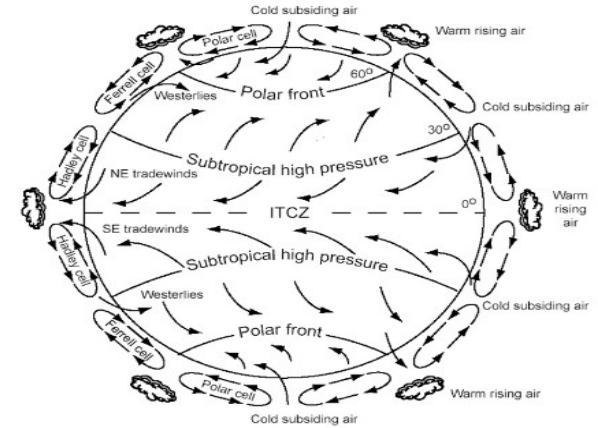
$$\Theta_2 = 280^\circ\text{K} (1000/700)^{0.286}$$

$$\Theta_2 = 309^\circ\text{K}$$

$\Theta_2 = 309^\circ\text{K} > \Theta_1 = 297^\circ\text{K}$ No se trata de la misma masa de aire

(a) Masas de aire: ¿qué son y cómo se forman?

- ¿Cómo se forman las masas de aire?
 - Gran volumen de aire estacionado (o con movimiento muy lento) durante varios días e incluso alguna semana sobre una determinada superficie donde las propiedades de T sup y humedad son uniformes.
- En esas condiciones, la masa de aire va adquiriendo las propiedades de dicha superficie por encontrarse en contacto con ella.

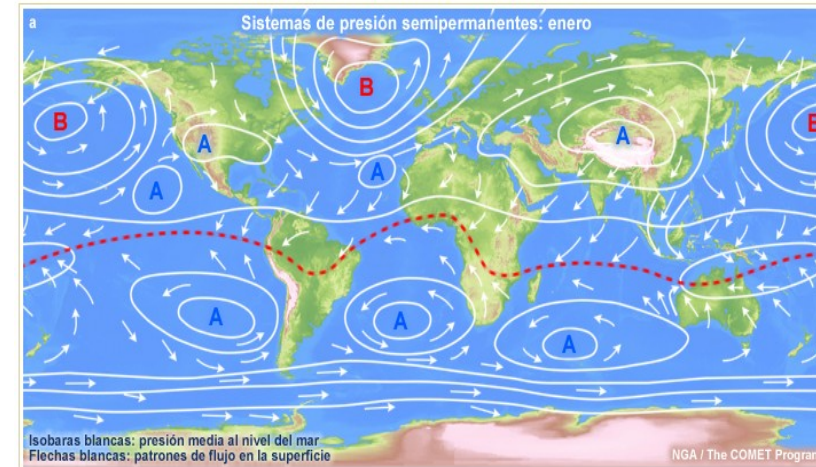
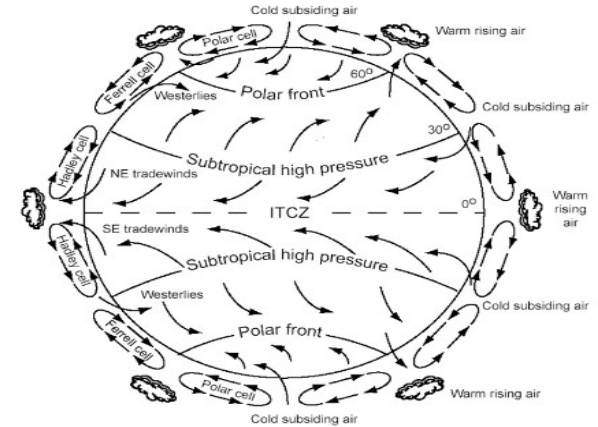


(a) Masas de aire: ¿qué son y cómo se forman?

- ¿Cómo se forman las masas de aire?

A las superficies donde se forman se les conoce como regiones fuente:

- Son caracterizadas por una escasa topografía, propiedades uniformes a lo largo de su superficie (T, humedad) y vientos débiles o inexistentes.
- Así, las regiones ideales para la formación de masas de aire son aquellas dominadas por centros de AP (esto incluye tanto las grandes extensiones de hielo/nieve de los polos, y océanos subtropicales).



(b) Clasificación y propiedades de las masas de aire

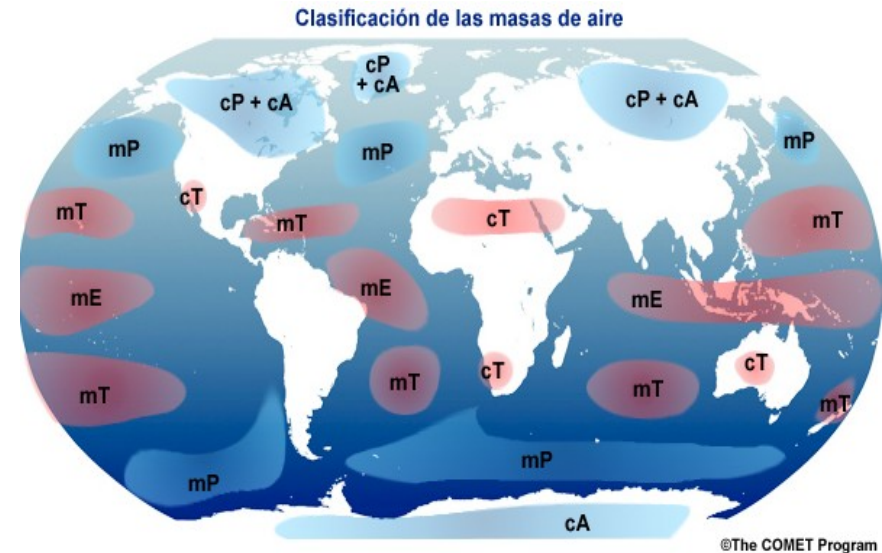
Clasificación de masas de aire

Se realiza en función de:

- Su temperatura
- Su humedad
- Temperatura relativa masa de aire – superficie

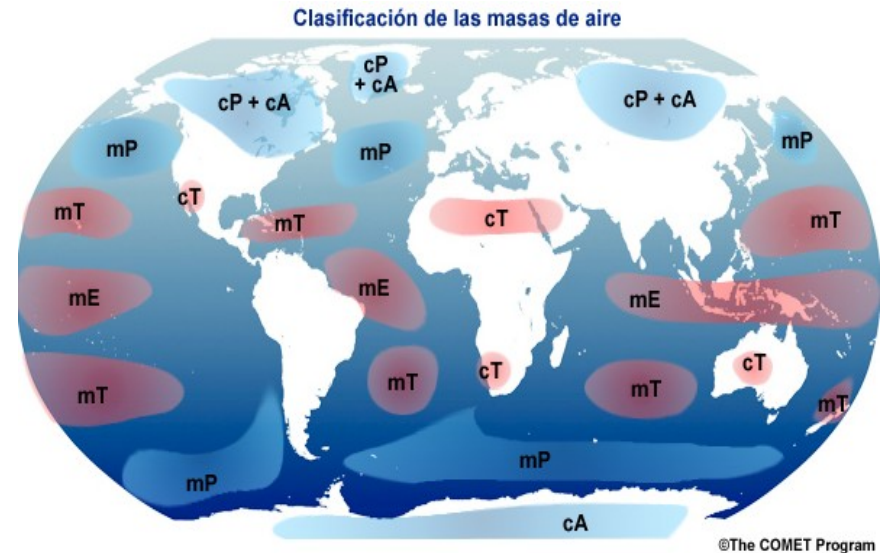
- **Nomenclatura: 2 letras (+1)**

- Letra minúscula hace referencia al **tipo de superficie** sobre la que se forma (indicativo del contenido de humedad):
 - Marítimas: (m)
 - Continentales: (c)



(b) Clasificación y propiedades de las masas de aire

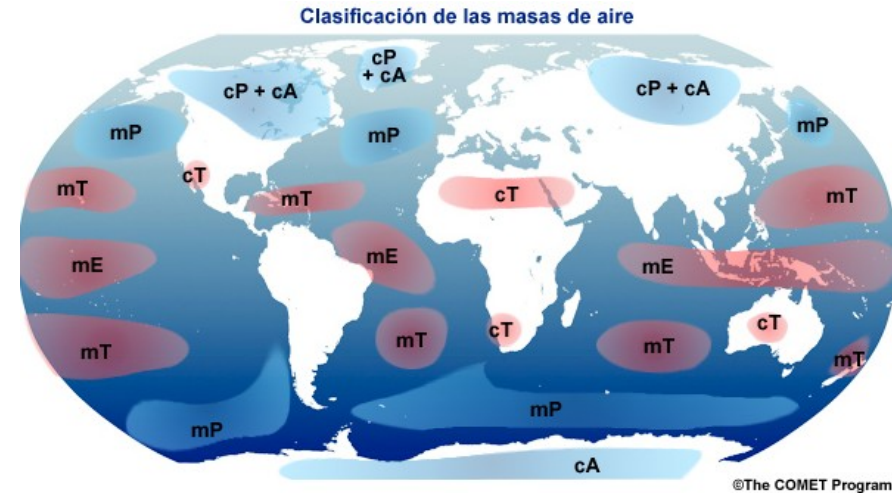
- **Nomenclatura: 2 letras (+1)**
- Clasificación de masas de aire: letra en mayúscula
 - Hace referencia a su **origen latitudinal** (indicativo de su temperatura):
 - Masas de aire ecuatoriales (**E**): se generan en mares tropicales y ecuatoriales.
 - Masas tropicales (**T**): las que se forman en latitudes subtropicales.
 - Masas polares (**P**): las que se forman en latitudes subpolares.
 - Masas de aire Antártico o Ártico (**A**): se generan sobre regiones de hielo y nieve.



(b) Clasificación y propiedades de las masas de aire

- Clasificación de masas de aire

- **Aire Ártico o Antártico (A):** Se genera sobre la región cubierta de hielo y nieve, con circulación preferentemente anticiclónica. Es fría, seca y estable.
- **Aire polar continental (Pc):** Se genera en la región subpolar. Es fría y seca.
- **Aire polar marítimo (Pm):** Se genera en las zonas subpolar y ártica. Es fría y húmeda.
- **Aire tropical continental (Tc):** Se genera en la zona continental subtropical de altas presiones. Es cálida y seca.
- **Aire tropical marítimo (Tm):** Se genera en los anticiclones subtropicales, sobre los océanos. Es cálida y húmeda.
- **Aire ecuatorial (E):** Se genera en los mares tropicales y ecuatoriales. Es caliente y muy húmeda.

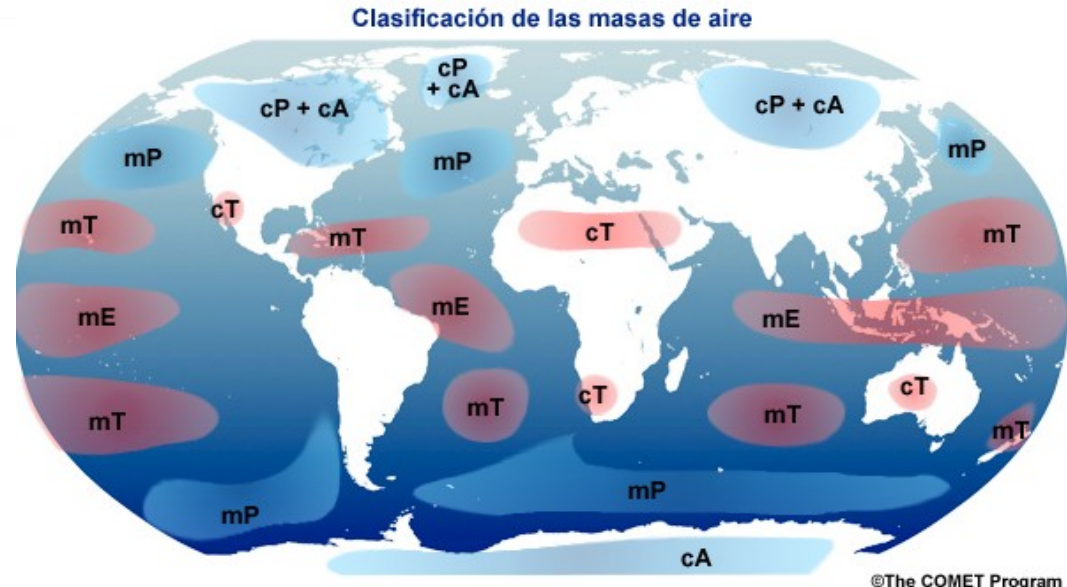


(b) Clasificación y propiedades de las masas de aire

- Clasificación de masas de aire

Según su comportamiento termodinámico se pueden dividir en :

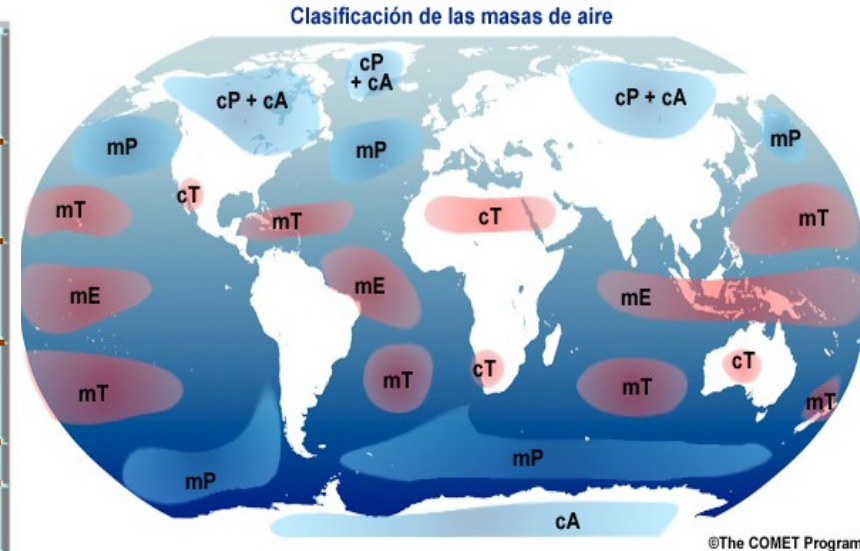
- **Fría (K):** Cuando es más fría que las masas de aire próximas o que la superficie sobre la cual se desplaza
- **Cálida (W):** Se la denomina de esta forma cuando es más caliente que las masas de aire próximas o que la superficie sobre la cual se desplaza.



(b) Clasificación y propiedades de las masas de aire

- Propiedades de las masas de aire

MASA DE AIRE	SÍMBOLO	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD ESPECÍFICA (G/KG)	PROPIEDADES
Ártica continental Antártica continental invierno	Ac AAc	-55 a -35	0.05 a 0.2	Muy fría, muy seca, muy estable
Polar continental invierno verano	Pc	-35 a -20 5 a 15	0.2 a 0.6 4 a 9	Fría, seca y muy estable Fría, seca y estable
Polar marítima invierno verano	Pm	0 a 10 2 a 14	3 a 8 5 a 10	Fresca, húmeda e inestable Fresca, húmeda e inestable
Tropical continental	Tc	30 a 42	5 a 10	Cálida seca e inestable
Tropical marítima verano	Tm	22 a 30	15 a 20	Cálida, húmeda, estabilidad variable
Ecuatorial marítima	Em	Aprox. 27	Aprox. 19	Cálida, muy húmeda e inestable



(c) Modificaciones de las masas de aire

- Cuando una masa de aire se mueve las propiedades se modifican de las siguientes formas:
 - **Calentamiento desde abajo (K):** tiene lugar cuando la masa de aire es más fría que la superficie sobre la cuál se está desplazando. Se establecen flujos de calor sensible desde la superficie hacia la masa de aire que tienden a calentarla por abajo. Ese calentamiento puede generar inestabilidad y posibles precipitaciones.
 - **Enfriamiento desde abajo (W):** tiene lugar cuando la masa de aire es más cálida que la superficie sobre la cuál se desplaza. En esta situación las capas mas bajas de la masa de aire empiezan a enfriarse aumentando la estabilidad de la masa de aire. Si la masa de aire se llega a enfriar por debajo de la T del punto de rocío, entonces pueden llegar a formarse nubes tipo estratos y nieblas.
 - **Agregación de vapor de agua:** cuando la masa de aire se desplaza sobre superficies acuosas o selváticas, se produce un incremento de la humedad de la misma.
 - **Disminución del vapor de agua:** condensación por precipitación , ascenso a una montaña ...

(c) Modificaciones de las masas de aire

- Cuando una masa de aire se mueve del lugar donde se gestó, las propiedades de la misma comienzan a modificarse siguiendo alguna o varias de las siguientes formas:

- Ejemplos

→ Cuando una masa de aire se desplaza sobre una superficie más cálida que ella (se utiliza el símbolo K) se calienta por su base. Entonces la inestabilidad térmica se desarrolla en las capas bajas y luego se extiende hacia arriba. Si el aire inicialmente contenía inversiones estas se destruyen y se establece uniformemente en la baja troposfera un fuerte gradiente de temperatura.

↘ Si la masa de aire (K) se desplaza sobre el agua, su humedad aumenta. La convección transporta el vapor de agua a niveles más altos donde se condensa formando nubes cumuliformes. Pueden originarse cúmulus, grandes cúmulus y cumulonimbus acompañados, eventualmente de chubascos e incluso de tormentas.



↘ La masa de aire (K) se desplaza sobre el continente absorbe menos humedad y la formación de nubes convectivas se retrasa hasta que el calentamiento en la base extienda la inestabilidad a altitudes mayores.

(c) Modificaciones de las masas de aire

- Cuando una masa de aire se mueve del lugar donde se gestó, las propiedades de la misma comienzan a modificarse siguiendo alguna o varias de las siguientes formas:

- Ejemplos:

Por el contrario, una masa de aire (a la que se le asignará el símbolo W) al desplazarse sobre una superficie más fría que ella, la pérdida de calor en las capas bajas la vuelve más estable, lo que puede impedir completamente la convección.

En general, se supone que las características de las masas de aire se modifican lentamente. Por ejemplo: el aire polar que penetra en las regiones tropicales y permanece allí estacionario debe experimentar lentas modificaciones antes de que pueda designársele como aire tropical.



(c) Modificaciones de las masas de aire

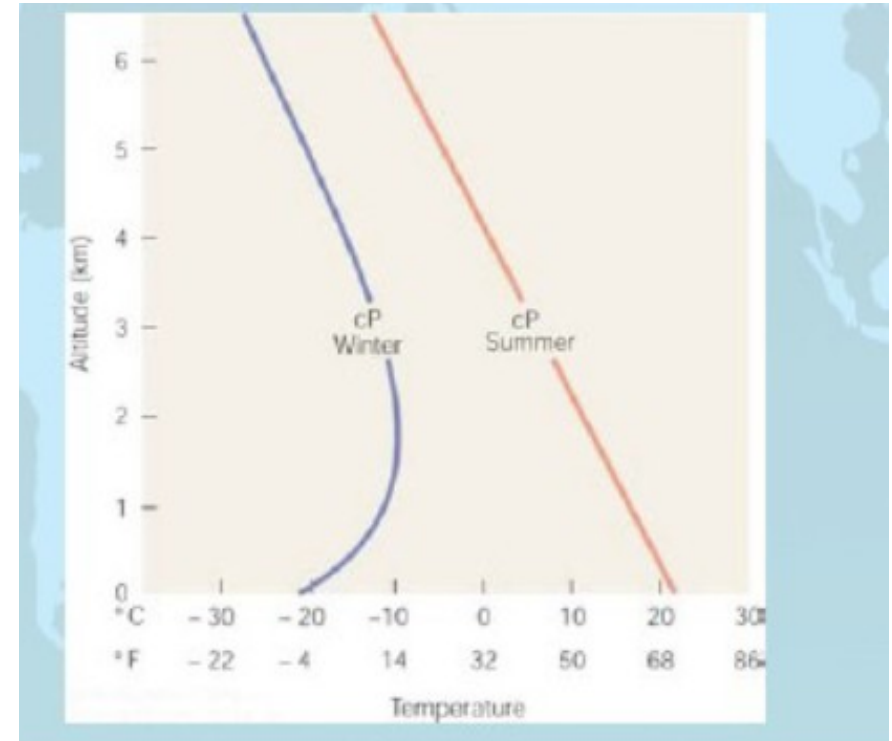
Las masas de aire se modifican cuando se van moviendo

Una masa de aire Pc desde Canadá se calienta gradualmente al ir cruzando una superficie más cálida en su viaje hacia el Sur



(c) Modificaciones de las masas de aire

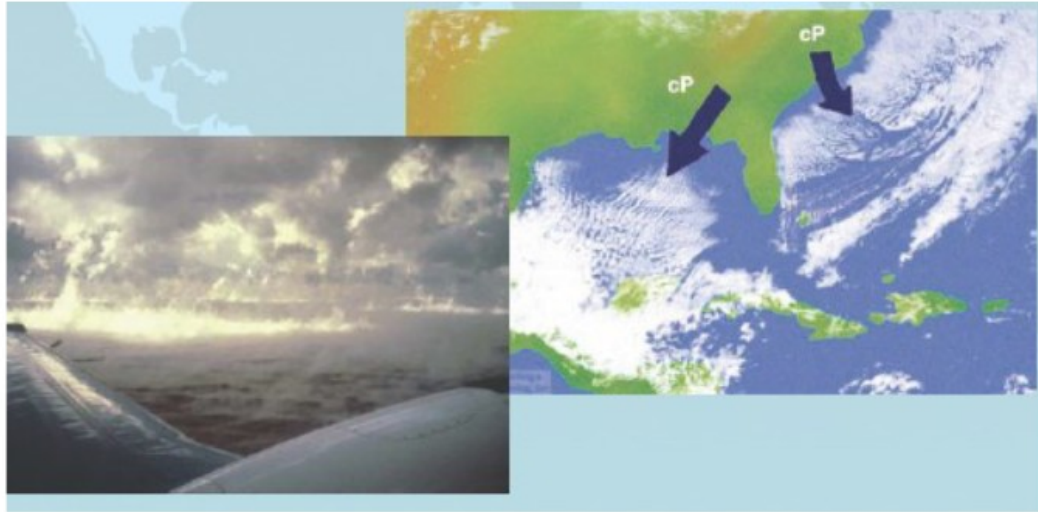
Las masas de aire se modifican con las estaciones
Una masa de aire polar es más cálida en primavera y verano



(c) Modificaciones de las masas de aire

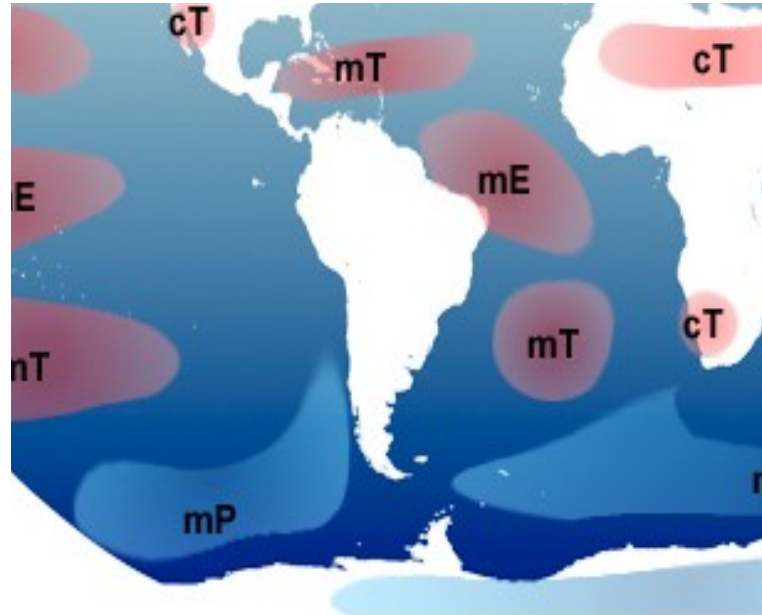
Una masa de aire cP cuando pasa sobre la corriente del Golfo (corriente cálida)

Al entrar en contacto con el océano cálido se calienta y aumenta su humedad transformándose en una masa de aire mP inestable.



(c) Modificaciones de las masas de aire

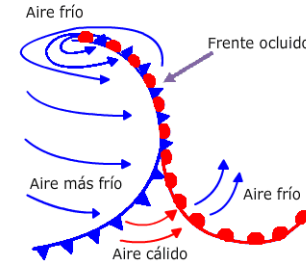
- Masas de aire en Uruguay: debido a su posición geográfica, las principales masas de aire que suelen afectar a Uruguay son:



FRENTES

- OBJETIVO: Introducir los conceptos de zonas frontales así como describir sus principales propiedades, estructuras y clasificación.
- CONTENIDO
 - Frentes
 - Definición
 - Clasificación
 - Fenómenos meteorológicos asociados con los modelos teóricos de frentes

Frentes ¿qué son?

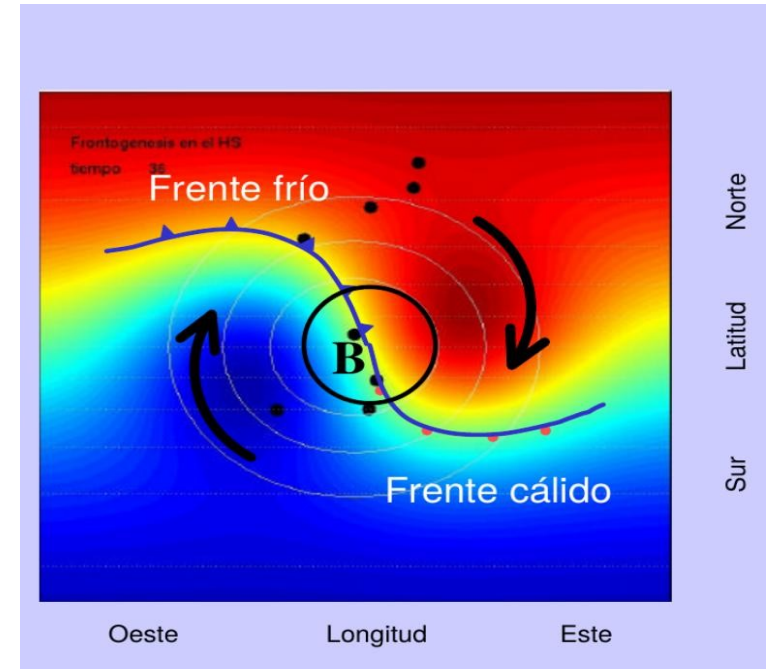


- Un frente es una zona de transición entre masas de aire con distinta T y humedad.
- Estas diferencias de T y Hum. son más marcadas que las existentes dentro de cada masa.
- Los frentes tienen varios km de espesor.
- No se observan en la atmósfera discontinuidades claras entre dos masas de aire.
- Lo observado son zonas de transición donde las propiedades pasan gradualmente de las que tiene una masa a las de la otra.
- Lo adecuado sería utilizar la expresión zona frontal

Frentes ¿qué son?

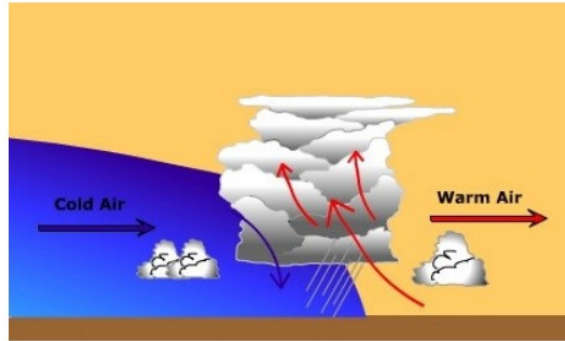
Están asociados a bajas presiones

Cuando dos masas de aire con diferente densidad se juntan, se genera un proceso de convección donde el aire frío y denso desciende y el aire cálido y ligero asciende, creándose una zona de baja presión conocida como depresión frontal.

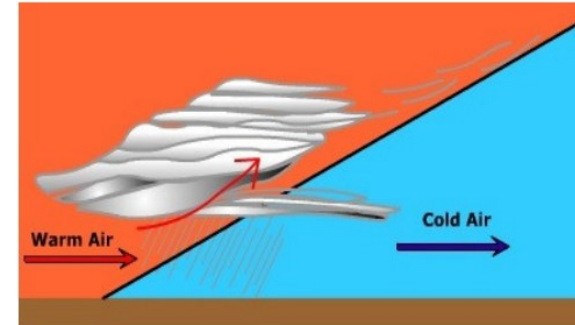


Clasificación de frentes

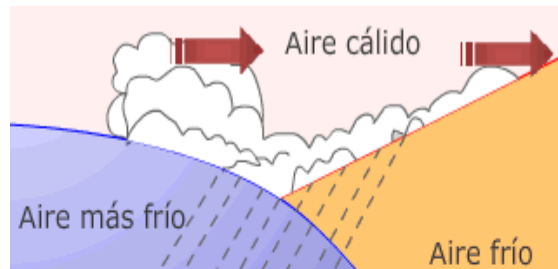
Frente frío



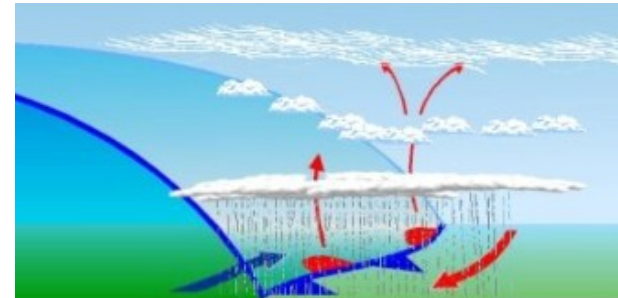
Frente cálido



Frente ocluido



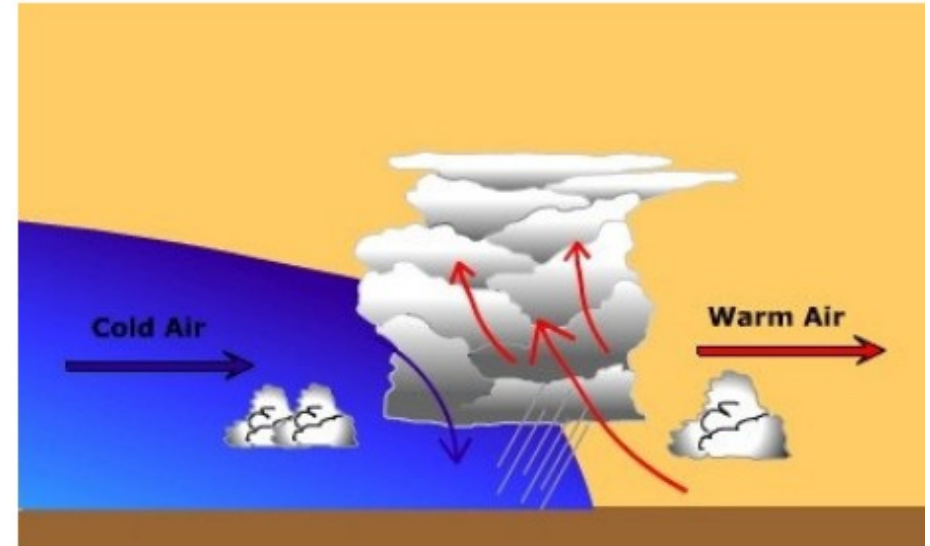
Frente estacionario



Clasificación de frentes

Para ejemplificar supongamos el frente polar simplificado

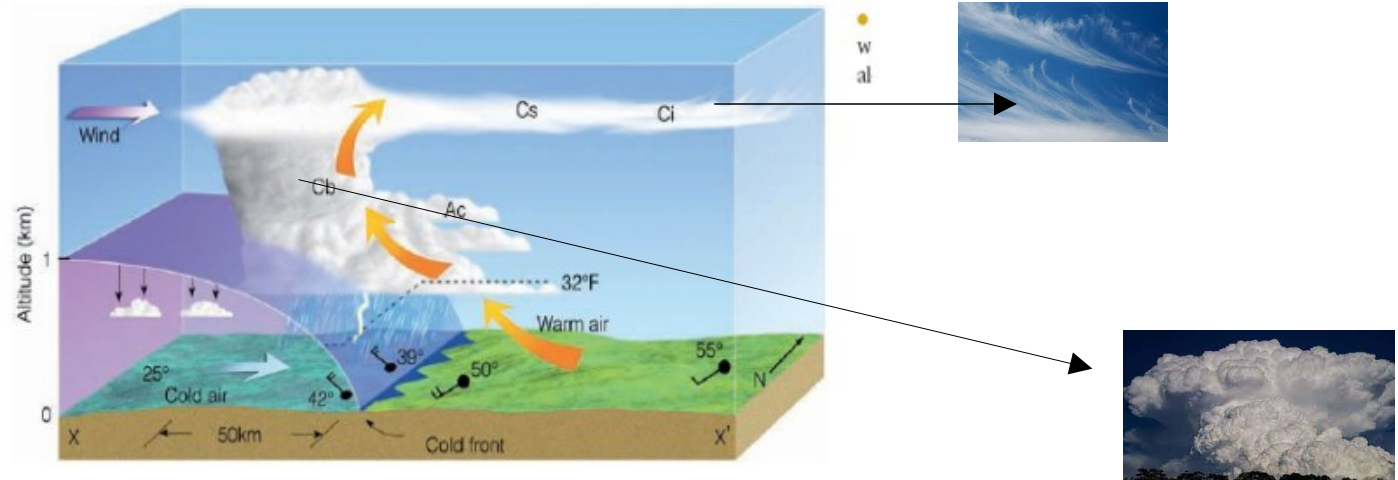
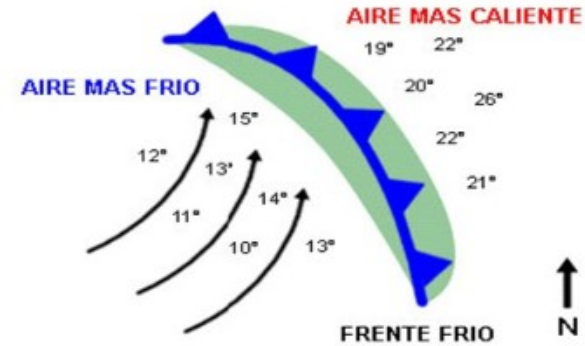
- En algunos puntos del frente polar aire frío, más denso, avanza hacia el ecuador en forma de cuña bajo el aire cálido que es obligado a elevarse.
- Esto determina un **frente frío** y en ella el aire frío reemplaza al aire cálido.



Clasificación de frentes

- Frente Frío

Cuando la masa de aire frío (mas densa) desplaza a la masa de aire cálido.



Clasificación de frentes

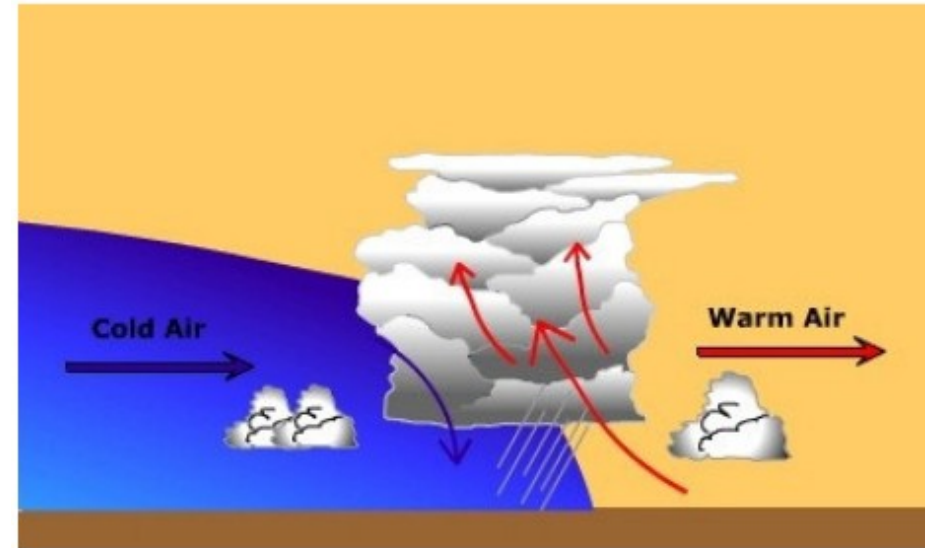
Al avanzar las masas de aire frío, el frente frío lo hace también.

Los frentes fríos suelen traer cambios repentinos en el tiempo.

Puede haber una fina línea de tormentas justo en el frente, que se mueven junto con este.

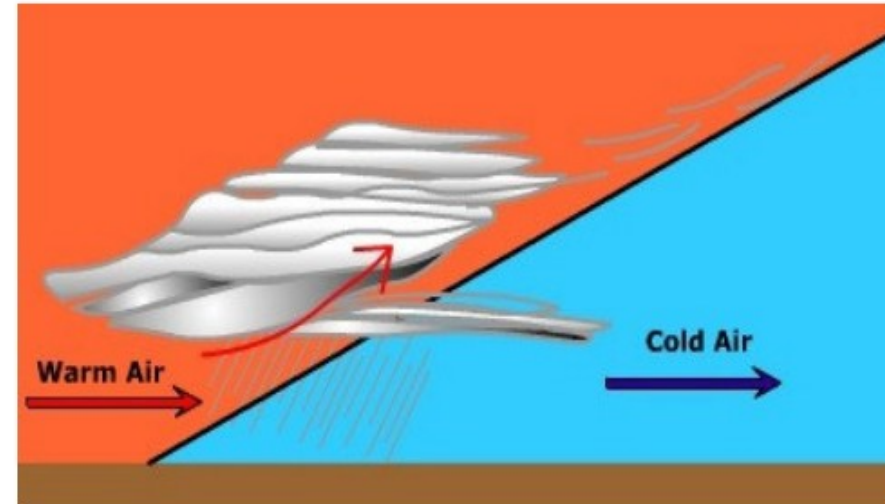
Después de que pasa el frente frío, la masa de aire frío detrás trae bajas temperaturas.

El aire tiende a ser menos húmedo también.



Clasificación de frentes

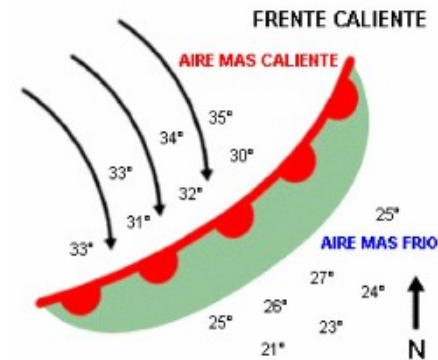
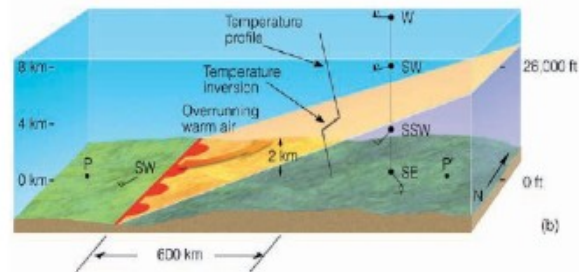
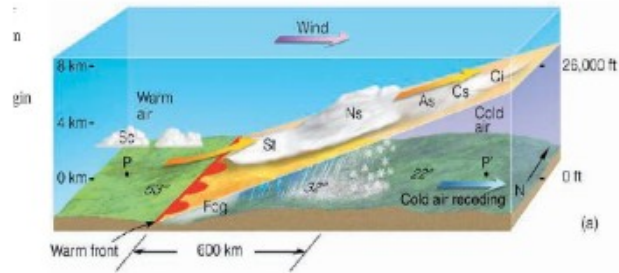
- Existen regiones donde el aire cálido, más ligero se desplaza hacia los polos elevándose por la pendiente formada por el aire frío.
- Esto es un **frente cálido** y en él, el aire cálido reemplaza al aire frío.



Clasificación de frentes

Frentes cálidos

- El aire cálido desplaza al aire frío. Son más lentos que los frentes fríos (Vel media de 10 Kt)

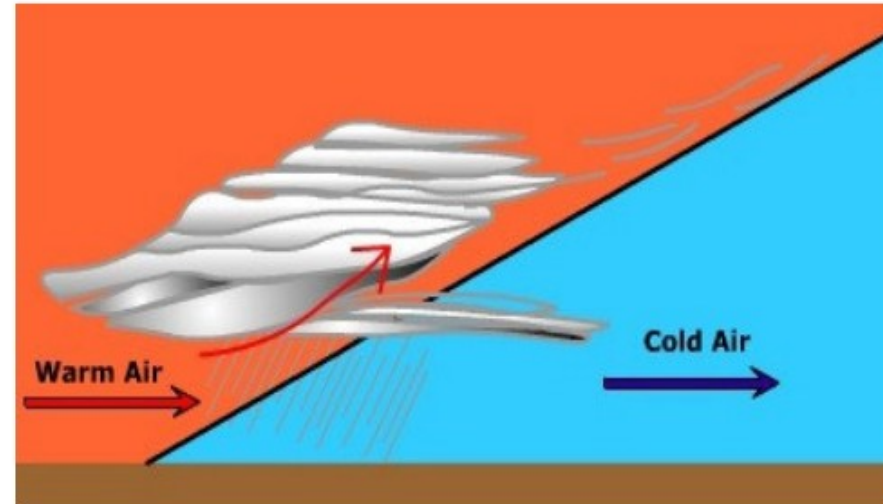


Clasificación de frentes

Al ascender este aire caliente, se enfría y eso trae nubes y a veces precipitaciones.

Los frentes cálidos se mueven más lento y cubren un área más amplia.

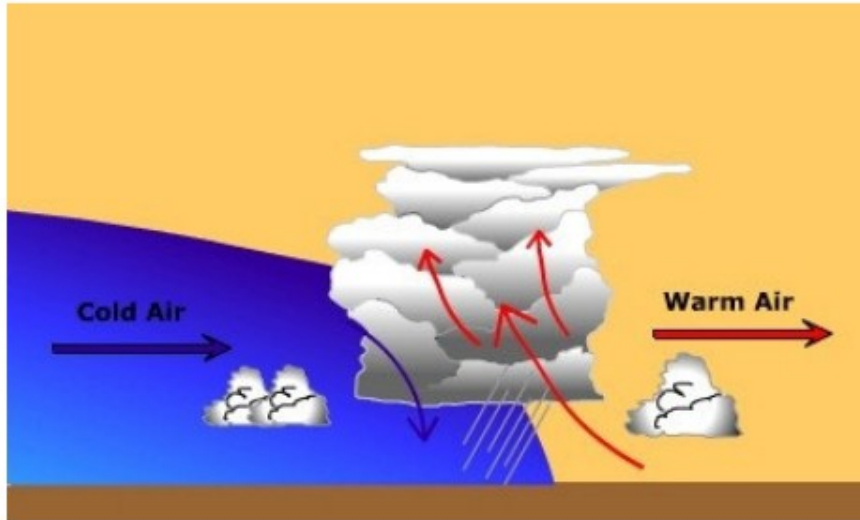
Después de que pasa un frente cálido, la masa de aire caliente tras él trae temperaturas más cálidas, el aire cálido también tiende a ser más húmedo.



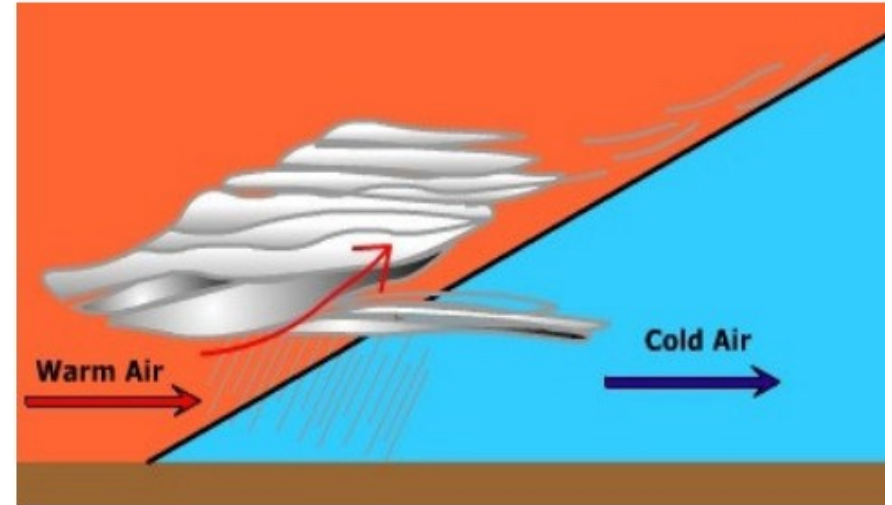
<https://youtu.be/nj5Ke2IF0Y4>

Clasificación de frentes

Frente frío



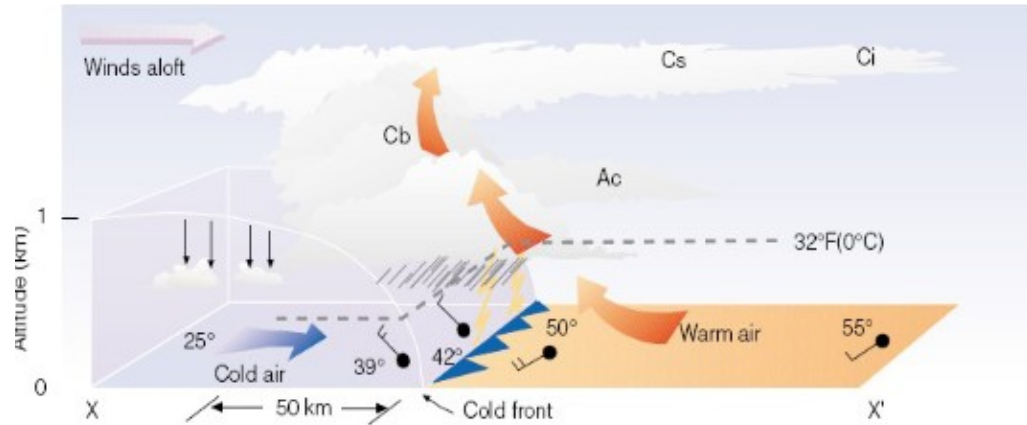
Frente cálido



La pendiente del frente frío es más abrupta que la del frente cálido:

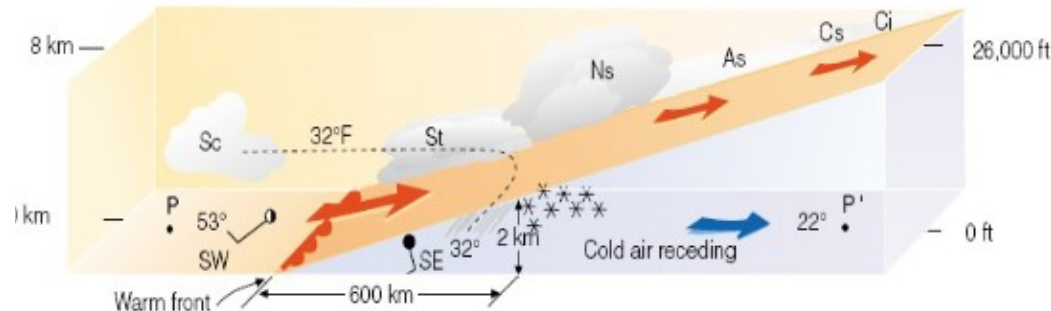
- En promedio, un frente frío se eleva 1 Km cada 75 Km horizontales.
- Un frente cálido tiene una pendiente media del orden de 1 Km cada 250 Km.

Clasificación de frentes



Las pendientes de ambos frentes (cálido y frío) son distintas: El frente frío presenta una mayor pendiente.

La formación nubosa ocurre en la región del aire cálido.

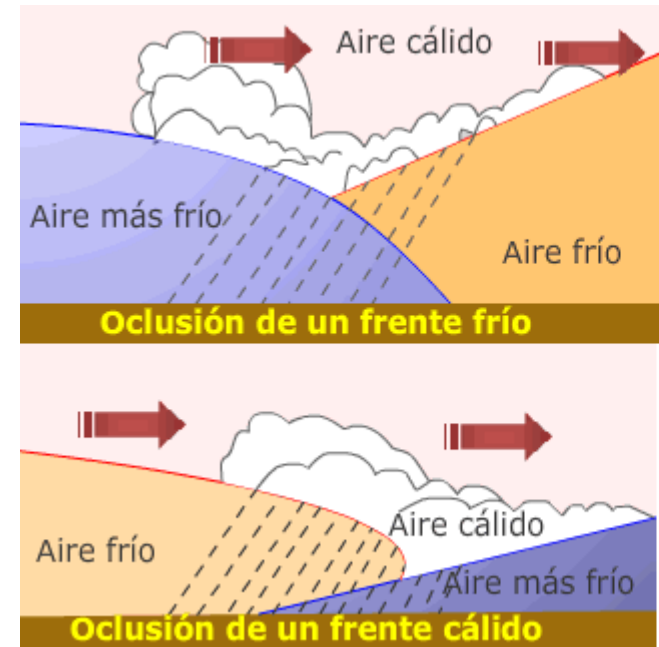


Clasificación de frentes

Frente ocluido

Ocurren cuando el frente frío se desplaza más rápido que el cálido y lo alcanza, el sector cálido se estrecha y se forma el frente ocluido.

El aire que inicialmente se encontraba en el sector cálido, es empujado hacia niveles más altos.

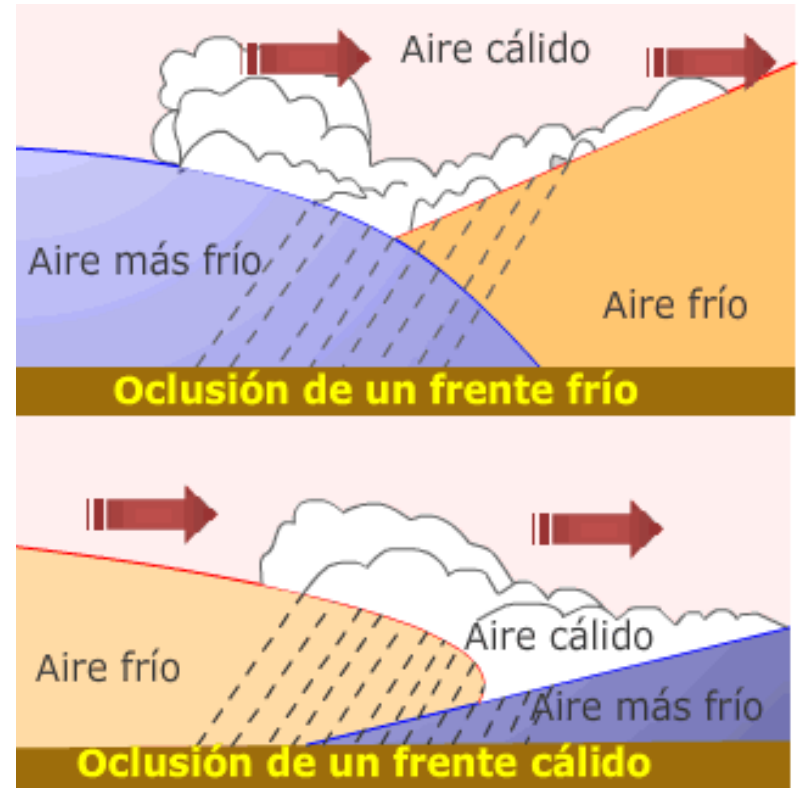


Clasificación de frentes

Frente ocluido

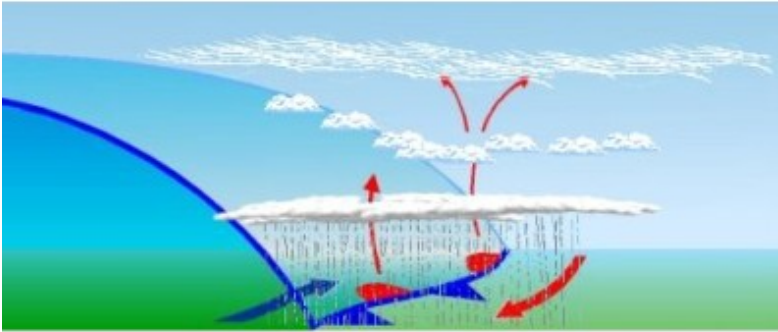
Se distinguen dos tipos de frente ocluido:

- Cuando el aire frío situado detrás del frente frío es el más frío de las dos masas de aire se desliza bajo el frente cálido y se forma una **oclusión con carácter de frente frío**.
- Cuando el aire frío situado delante del frente cálido es el más frío de las dos masas de aire se desliza bajo el frente frío y se forma una **oclusión con carácter de frente cálido**.



Clasificación de frentes

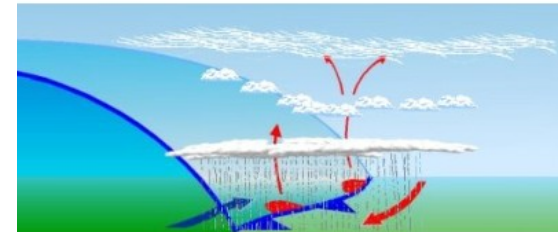
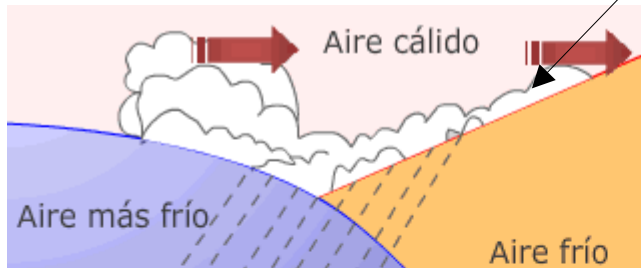
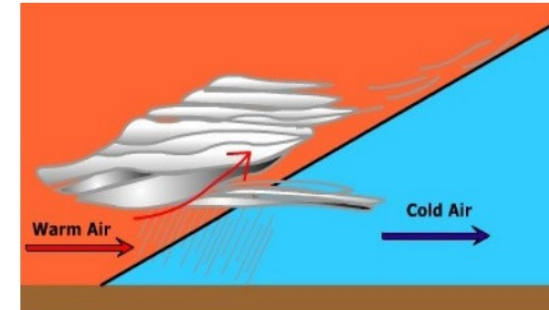
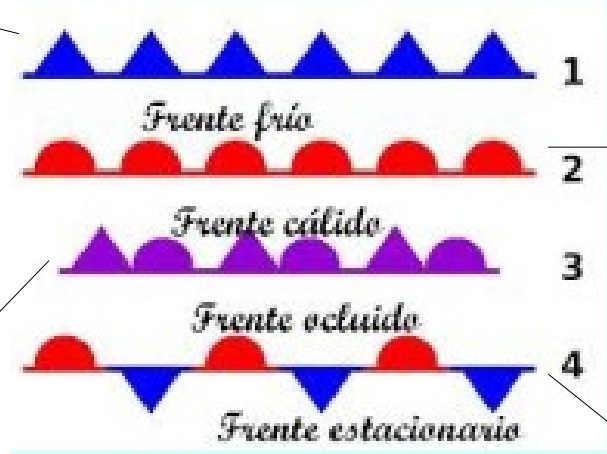
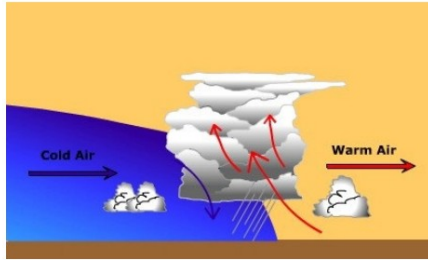
Frente estacionario



- Esencialmente es una zona frontal que esta prácticamente quieta.

- Se puede encontrar una gran variedad de condiciones atmosféricas a lo largo de estos frentes.
- Nubes y la precipitación prolongada son frecuentes
- Después de varios días se disipan o se convierten en un frente frío o cálido

Clasificación de frentes



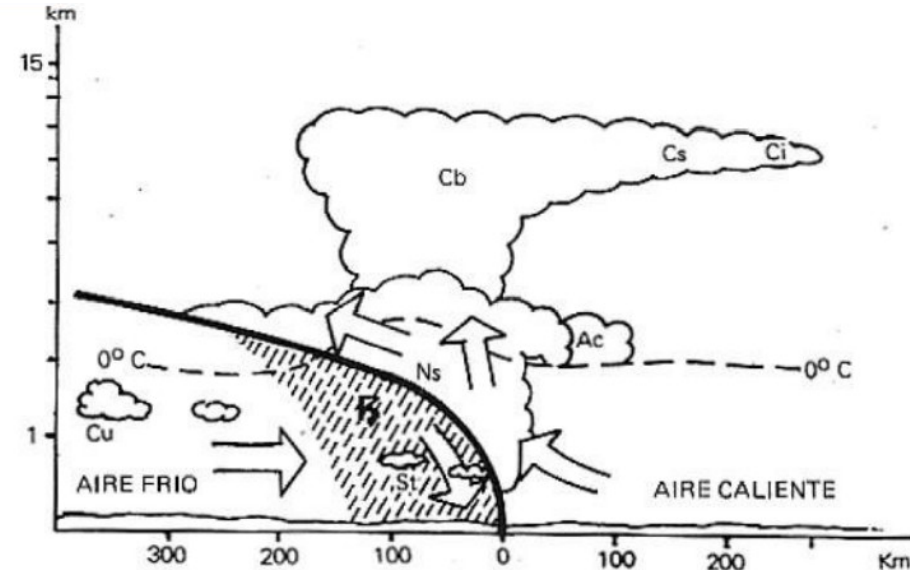
Fenómenos meteorológicos asociados a los frentes

Fenómenos meteorológicos asociados a los modelos teóricos, pueden apartarse de la realidad (e.g.: si el aire caliente es estable y seco pueden no ocurrir precipitaciones).

Modelo teórico del frente frío

La pendiente de los frentes fríos es abrupta.

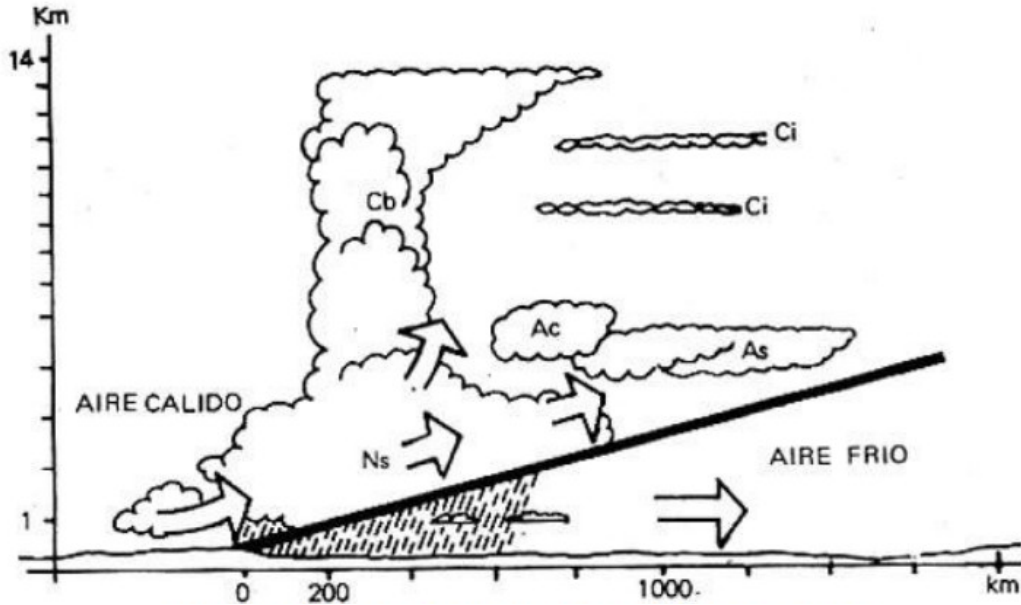
- El frente se acompaña de cumulonimbus (Cb), Nimboestratus (Ns), Cirrus (Ci) y Cirrusstratus (Cs), vientos turbulentos y ráfagas, fuertes lluvias y tormentas.
- Provoca en una corta distancia, un levantamiento de aire del mismo orden que el producido por un frente cálido en una zona mucho más extensa.
- Se acompañan de una zona más estrecha de nubes y precipitaciones que la correspondiente a los frentes cálidos.
- Su acción es de corta duración pero intensa.



Fenómenos meteorológicos asociados a los frentes

Modelo teórico del frente cálido

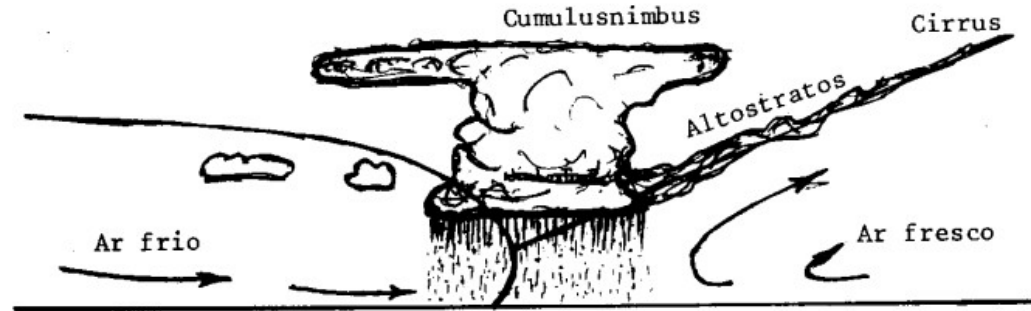
- La llegada de un frente cálido se anuncia por la aparición de nubes altas
- Al acercarse el frente, el aire cálido está cada vez más bajo y las nubes son mas bajas.
- A menudo se observan también nubes bajas en el aire frío formadas a partir de la evaporación de las gotas y del agua de la lluvia del suelo.
- Los fenómenos meteorológicos dependen de las características del aire cálido antes de elevarse.
- Debido a la débil velocidad de ascendencia sobre la pendiente poco pronunciada, de haber fuertes lluvias, se explican debido a un aire cálido inestable.



Fenómenos meteorológicos asociados a los frentes

Modelo teórico de los frentes ocluidos

- Se genera una depresión encerrada entre dos masas de aire frío que se acercan, el aire cálido al ser empujado forma nubes y precipitación.
- En ciertos casos, la interacción entre las dos masas frías también puede provocar la formación de nubes y de precipitación en las capas bajas a lo largo de la línea de giro del viento.



- Los fenómenos que se producen dependen de su estructura y movimientos.
- Pueden presentar algunas características de frentes fríos y cálidos pero la sucesión de acontecimientos es más compleja.

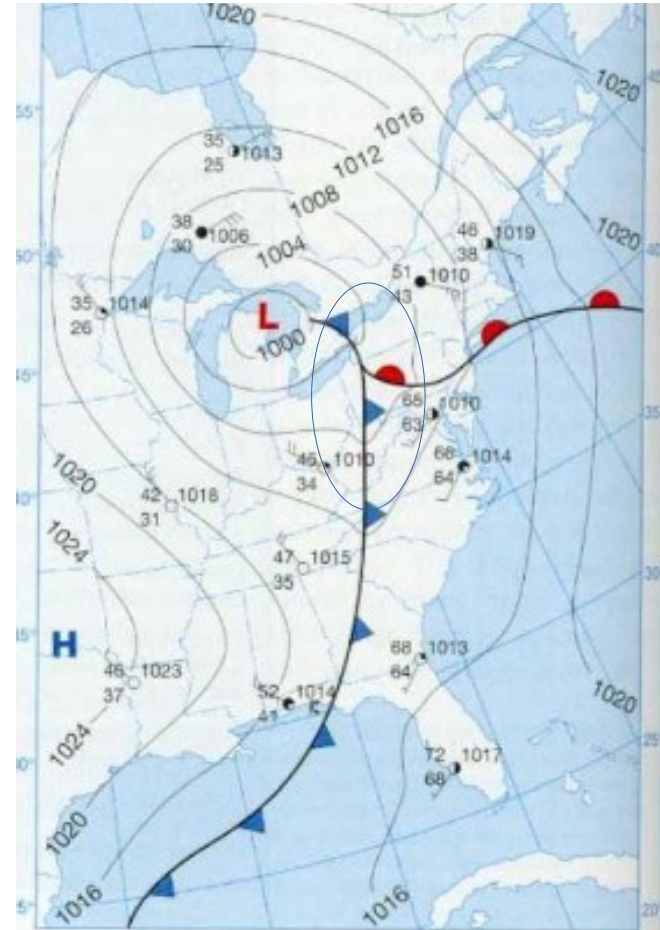
Identificación de frentes

Un frente se caracteriza por

- Cambio brusco de temperatura
- Cambios en el contenido de humedad
- Cambio en la dirección del viento a lo largo del frente
- “Doble” en las isobaras, cuyo vértice apunta en sentido desde las bajas a las altas presiones
- A menudo nubosidad extensa y precipitación

Como el aire frío es más denso, el peso de la columna de aire es mayor que en el aire cálido.

Este exceso de presión de la cuña fría bajo el frente genera que las isobaras se doblen



Mapas y símbolos

Cómo leer el reporte de una estación

En muchas localidades se traza sobre mapas la información obtenida de los reportes horarios, aquí vemos lo que cada uno contiene:

Este número representa la temperatura del aire.

Este código es el tiempo actual. En este caso, lluvia.

Este número es el punto de rocío.



Dentro del círculo se representa el estado del cielo. Cuando el círculo está libre, el cielo está claro. Con una cruz como en el ejemplo, el cielo está nublado.

Mapas y símbolos

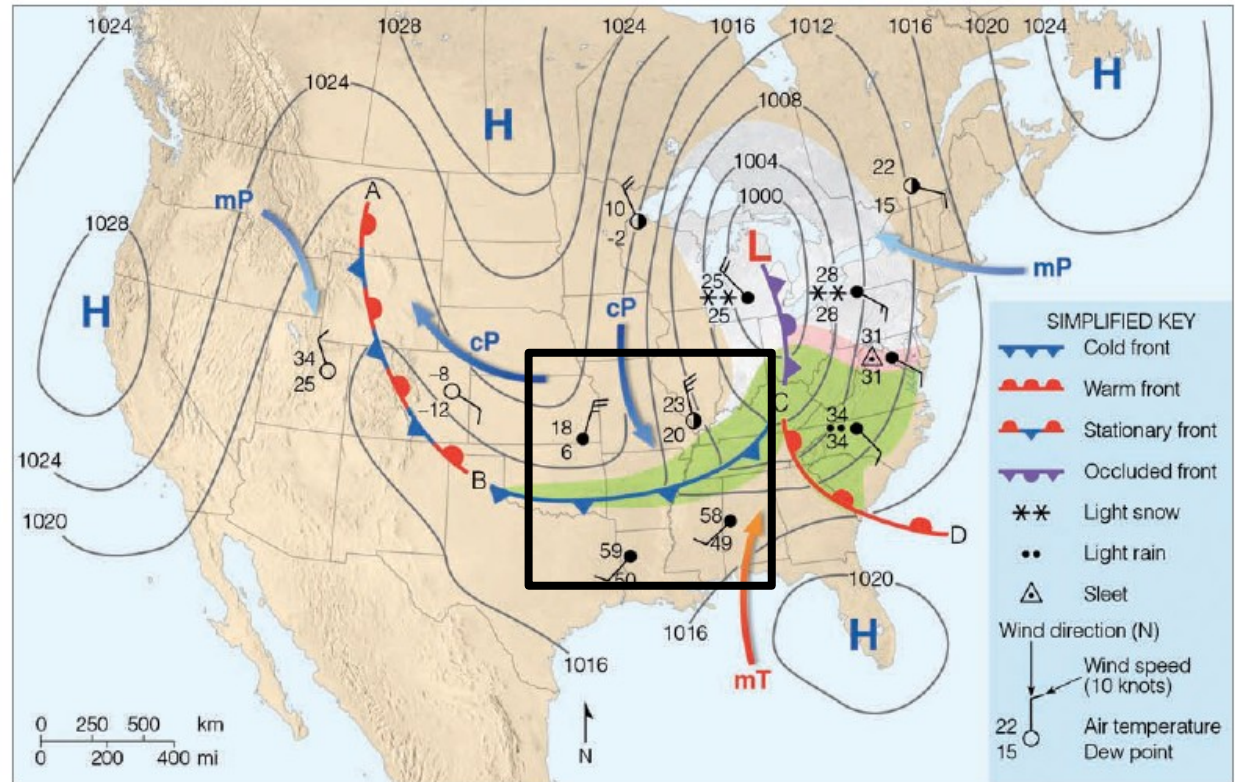
Comprendiendo un mapa del tiempo

Las lengüetas dibujadas en un frente muestran la dirección del movimiento.



Crerios para identificar frentes

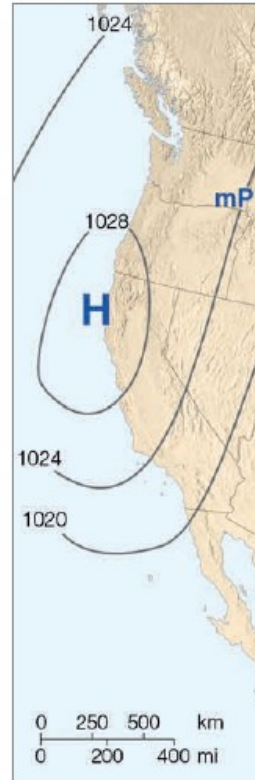
- ¿Cómo saben los meteorólogos dónde se encuentran los frentes?
 - Brusco cambio de temperatura en superficie en una distancia relativamente corta
 - Cambios en el contenido de humedad del aire (marcado por cambios en la temperatura del punto de rocío)
 - Cambio en la dirección de los vientos
 - Cambios en la presión*
 - Nubes y precipitaciones* (no siempre)
 - Cierta “quiebre” de la isobara cuando le cruza el frente → da cuenta del cambio en la dirección de los vientos



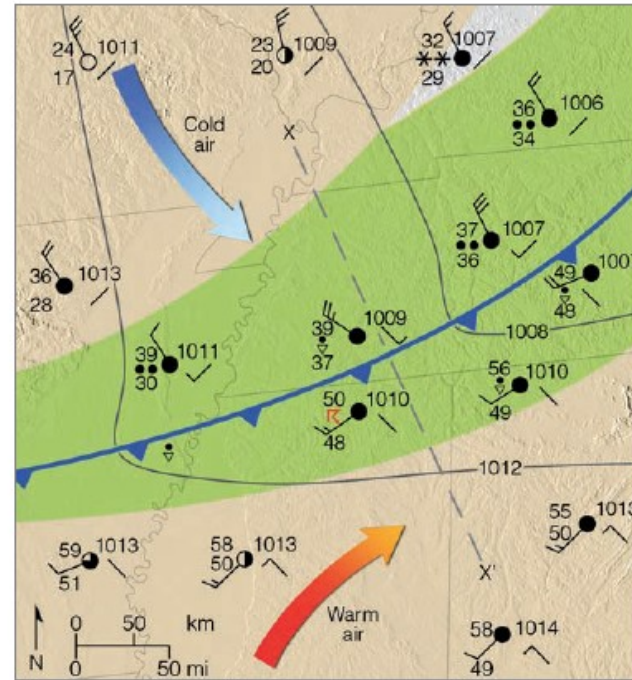
• **FIGURE 11.14** A surface weather map showing surface-pressure systems, air masses, fronts, and isobars (in millibars) as solid gray lines. Large arrows in color show air flow. (Green-shaded area represents rain; pink-shaded area represents freezing rain and sleet; white-shaded area represents snow.)

Criterios para identificar frentes

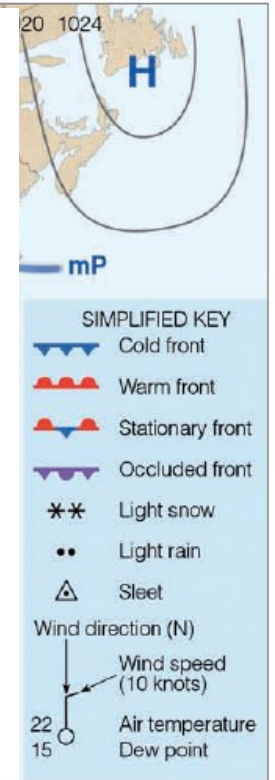
- ¿Cómo saben los meteorólogos dónde se encuentran los frentes?
 - Brusco cambio de temperatura en superficie en una distancia relativamente corta
 - Cambios en el contenido de humedad del aire (marcado por cambios en la temperatura del punto de rocío)
 - Cambio en la dirección de los vientos
 - Cambios en la presión
 - Nubes y precipitaciones (no siempre)
 - Cierta “quiebre” de la isobara cuando le cruza el frente → da cuenta del cambio en la dirección de los vientos



• **FIGURE 11.14** A surface weather map of the United States. Large arrows in color show air flow. (Green shaded area represents rain; pink shaded area represents freezing rain and sleet; white shaded area represents snow.)



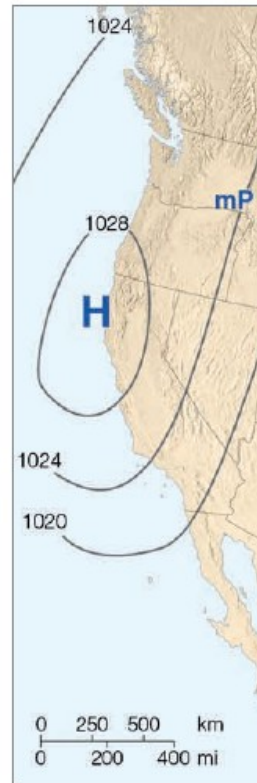
• **FIGURE 11.15** A closer look at the surface weather associated with the cold front situated in the southern United States in Fig. 11.14. (Gray lines are isobars. Green shaded area represents rain; white shaded area represents snow.)



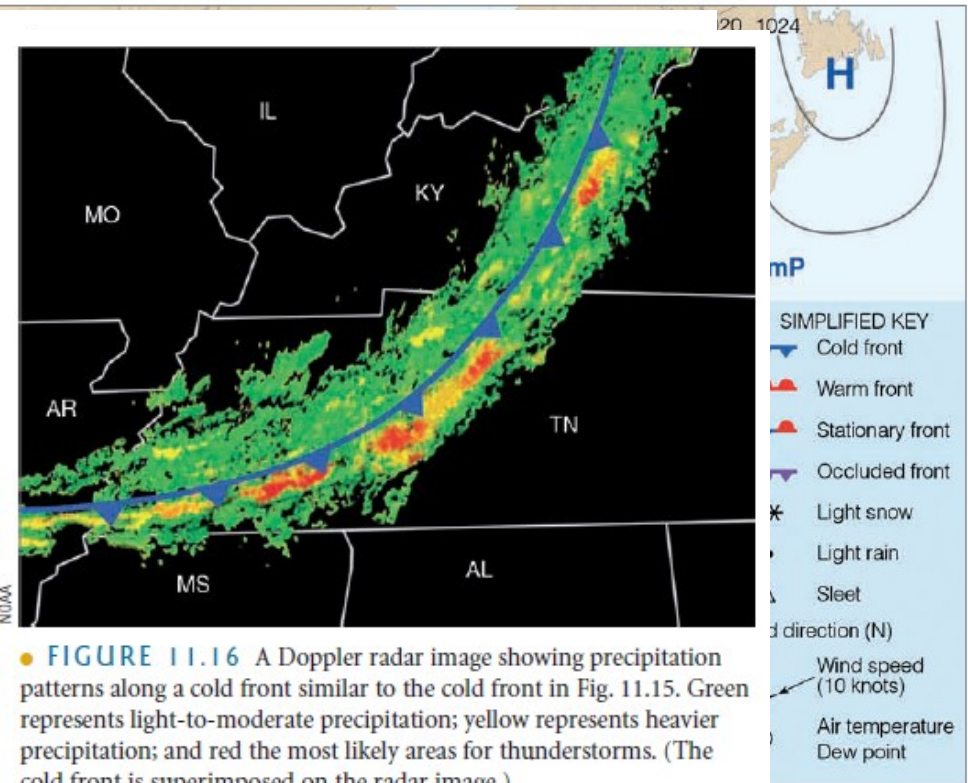
(in millibars) as solid gray

Criterios para identificar frentes

- ¿Cómo saben los meteorólogos dónde se encuentran los frentes?
 - Brusco cambio de temperatura en superficie en una distancia relativamente corta
 - Cambios en el contenido de humedad del aire (marcado por cambios en la temperatura del punto de rocío)
 - Cambio en la dirección de los vientos
 - Cambios en la presión*
 - Nubes y precipitaciones* (no siempre)
 - Cierta “quiebre” de la isobara cuando le cruza el frente → da cuenta del cambio en la dirección de los vientos



• **FIGURE 11.14** A surface map of the United States showing isobars (lines of equal pressure) as solid gray lines. Large arrows in color show air flow. (Green shaded area represents rain; pink shaded area represents freezing rain and sleet; white shaded area represents snow.)



• **FIGURE 11.16** A Doppler radar image showing precipitation patterns along a cold front similar to the cold front in Fig. 11.15. Green represents light-to-moderate precipitation; yellow represents heavier precipitation; and red the most likely areas for thunderstorms. (The cold front is superimposed on the radar image.)