



FACULTAD DE INGENIERÍA  
CIVIL Y AMBIENTAL



ESCUELA  
POLITÉCNICA  
NACIONAL



**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL**

**AMBD553:**

**METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA**

**CAPÍTULO 6:**

**LA CIRCULACIÓN EN LA ATMÓSFERA**

**Docente: Lenin Campozano PhD**

---

## CONTENIDO DEL CAPÍTULO

6.1 Escalas de circulación atmosférica

6.2 La circulación general

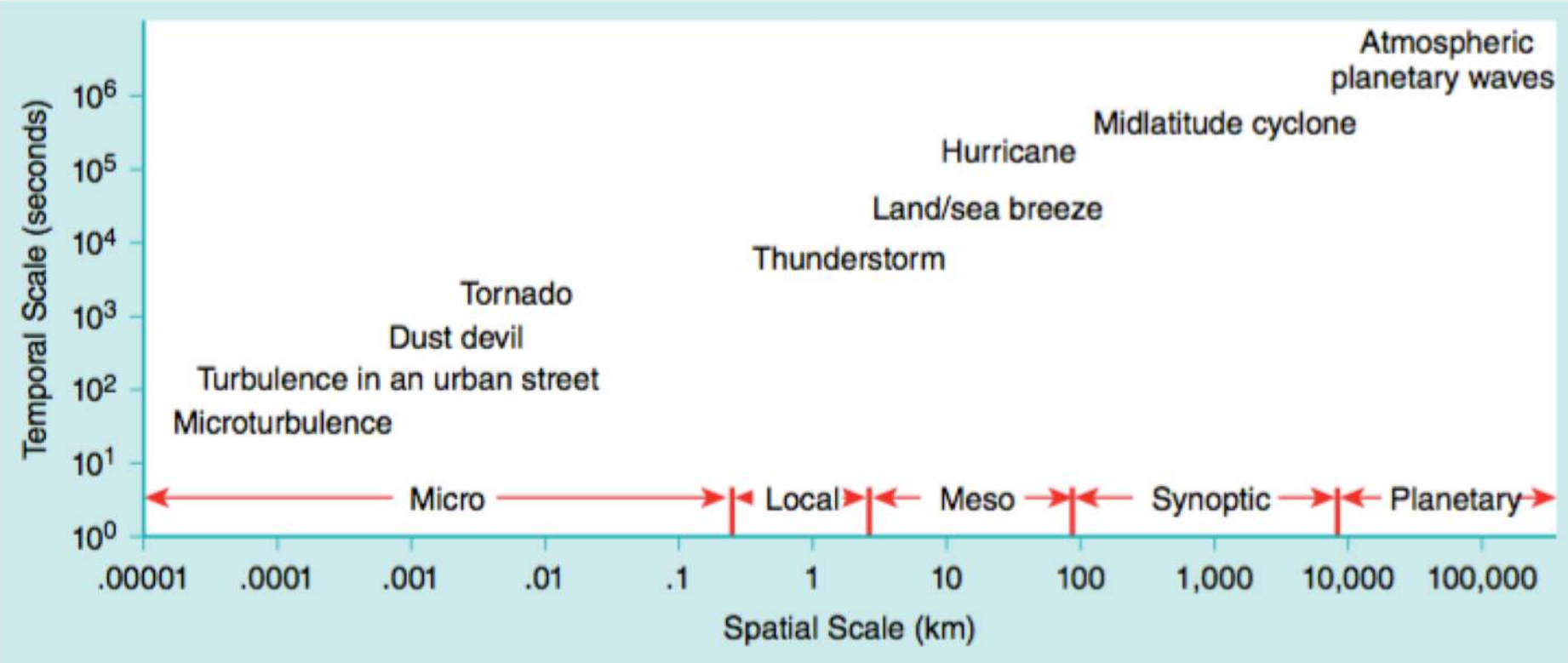
6.3 Circulación mesoescalar

## 6.1 Escalas de circulación atmosférica

---

- La circulación atmosférica es turbulenta, por lo tanto hay flujos en muchas escalas espaciales y temporales.
- Hay una relación prácticamente lineal entre la escala espacial y la escala temporal, es decir, entre el tamaño de determinado sistema atmosférico y su duración.
- Así, un pequeño remolino de unos metros de extensión puede durar unos segundos, mientras que una borrasca de miles de kilómetros cuadrados puede durar días o semanas.
- En la macroescala, la atmósfera es una capa muy delgada en la que necesariamente los movimientos horizontales del aire dominan sobre los movimientos verticales.
- En la mesoescala y la micro-escala el espesor de la capa atmosférica es comparable o mayor que la extensión horizontal de la circulación, y los movimientos verticales de aire pueden ser importantes.

# 6.1 Escalas de circulación atmosférica



## 6.2 La circulación general

---

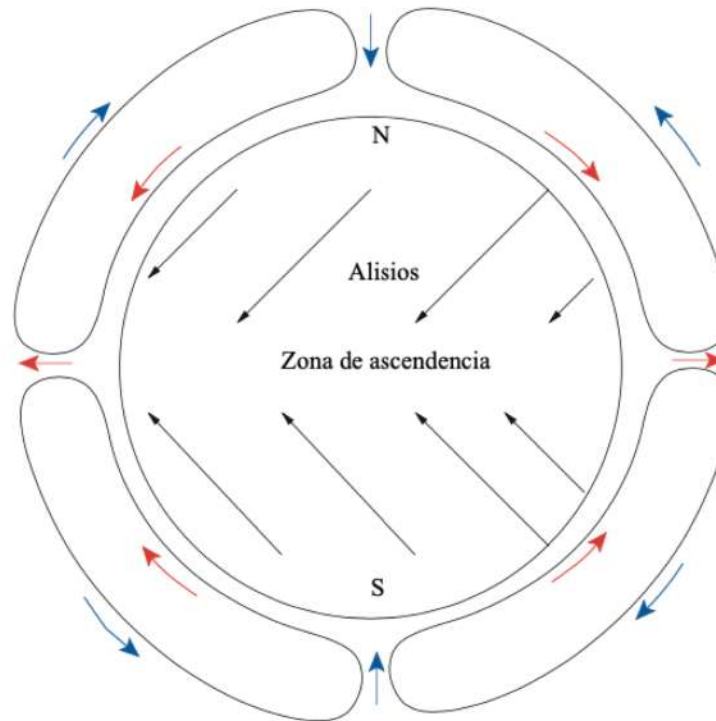
### MODELO DE UNA CELDA

[https://www.youtube.com/watch?v=xqM83\\_og1Fc](https://www.youtube.com/watch?v=xqM83_og1Fc)

- Este modelo fue propuesto por George Hadley en el siglo XVIII para explicar la existencia de los vientos alisios.
- En este modelo cada hemisferio del planeta está cubierto por una gran celda convectiva de Hadley
- En la zona ecuatorial el aire calentado por la superficie asciende y en este proceso se enfría por expansión adiabática. El ascenso produce en la parte baja una zona de baja presión que genera vientos en superficie.
- Desde los niveles altos de la atmósfera, empujado por esta corriente ascendente, el aire enfriado se dirige hacia los polos. En su desplazamiento en altitud el aire no sigue un camino directo a lo largo de los meridianos sino que, sometido a la fuerza de Coriolis, se desvía hacia el Este en el hemisferio norte y al Oeste en el hemisferio sur.
- Por el camino el aire continúa enfriándose hasta que al llegar a los polos está tan frío que desciende para iniciar el retorno hacia el ecuador y cerrar, así, la celda convectiva.

## 6.2 La circulación general

### MODELO DE UNA CELDA



*Figura 6.2: Modelo de Hadley. En la figura se muestran las secciones transversales de la celda convectiva en cada hemisferio y la dirección de los vientos dominantes en la superficie.*

## 6.2 La circulación general

---

### MODELO DE UNA CELDA

- La corriente en superficie se dirige desde los polos hacia latitudes menores y es desviada por la fuerza de Coriolis hacia su derecha en el hemisferio norte y hacia su izquierda en el hemisferio sur,
- De esta forma, el modelo explica la existencia de vientos constantes a gran escala, a partir de la circulación convectiva originada por el calentamiento diferencial de la Tierra.
- No considera la conservación del momentum angular de la corriente convectiva y es inestable para la velocidad de rotación de la Tierra. → sí es aplicable a la atmósfera de Venus que tiene una velocidad de rotación mucho menor que la terrestre (243 días terrestres rotación en eje propio).

## 6.2 La circulación general

---

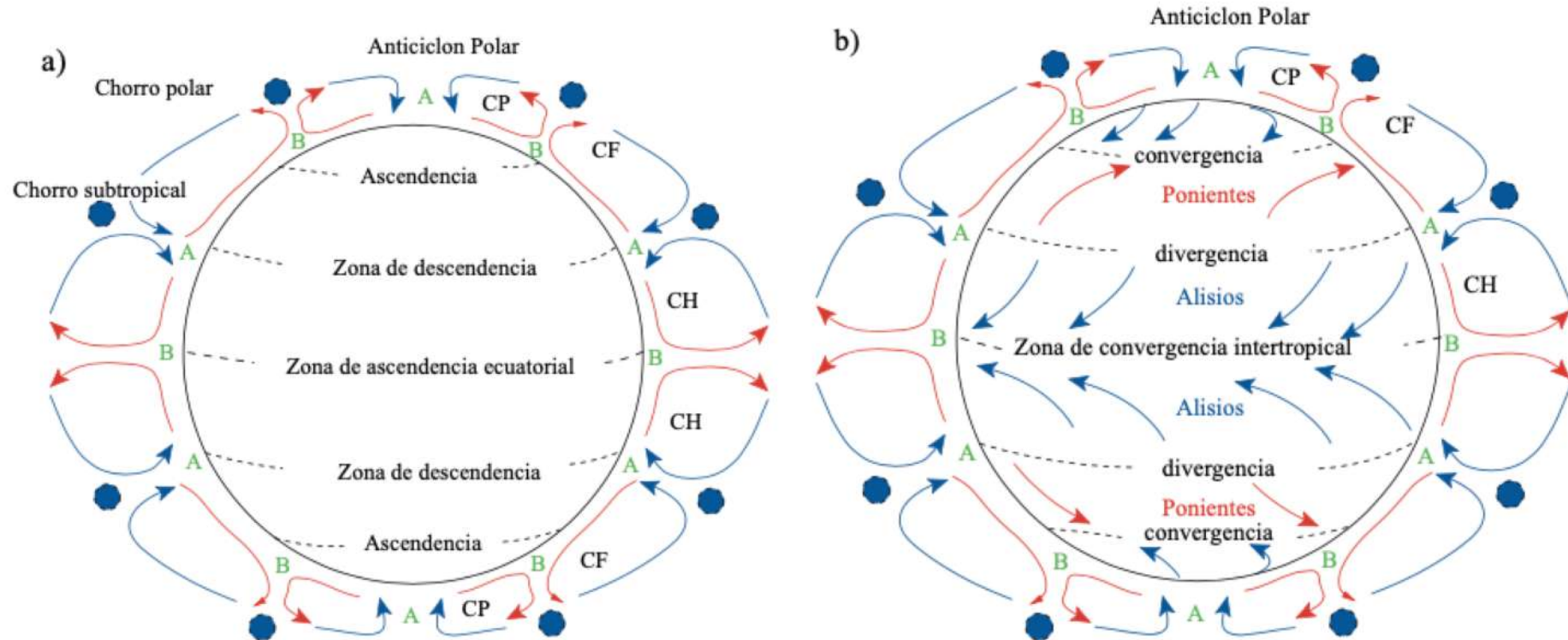
### MODELO DE TRES CELDAS

- Propuesto por el meteorólogo norteamericano William Ferrel a mediados del siglo XIX
- El problema del modelo de Hadley:
- La fuerza de Coriolis es proporcional a la velocidad de rotación del planeta, y en 30N sopla de oeste a este. El aire está más frío inicia el descenso. Al llegar a la superficie la corriente se divide en una parte que se dirige hacia el ecuador cerrando una primera celda, y en otra parte que se dirige hacia el polo.
- Esta primera celda (Hadley), sigue explicando los vientos alisios, pero no en todo el hemisferio sino en la zona subtropical.
- Desde los polos desplaza al Ecuador y por la fuerza de Coriolis asciende cerrando la celda Polar. Al llegar aproximadamente a los 60 de latitud la desviación es tan grande que la corriente termina por ascender cerrando la llamada celda polar.
- La celda de Ferrel (intermedia) → inducida por arrastre viscoso en la zona de ascendencia de la celda polar y en la zona de descendencia de la celda de Hadley.



## 6.2 La circulación general

### MODELO DE TRES CELDAS



*Figura 6.3: Modelo de tres celdas convectivas. En la figura a) se muestran las corrientes verticales y en la figura b) los vientos horizontales cerca de la superficie y las corrientes de chorro.*

## 6.2 La circulación general

---

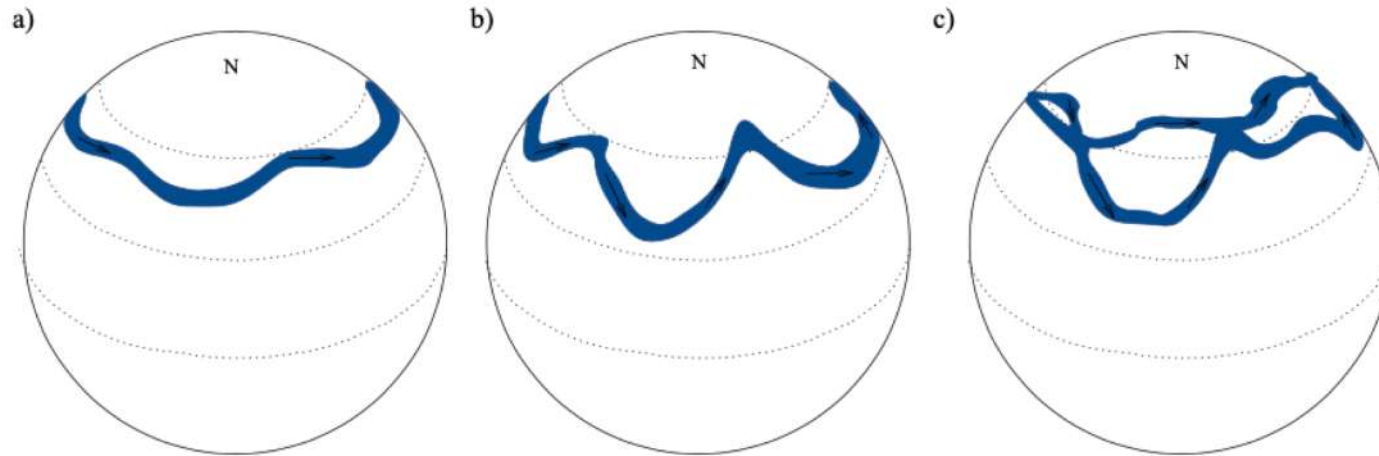
### MODELO DE TRES CELDAS

- Entre la celda Hadley y la Ferrel hay subsidencia de manera que en estas zonas están situados los grandes desiertos del planeta: el Sahara y el Namib en África, el de la baja California y Atacama en América y el desierto australiano.
- Sobre el mar, en estas zonas centradas en el paralelo 30º se forman calmas o soplan vientos suaves y variables, como en el mar de los Sargazos en Atlántico Norte.
- En la zona de 60º, llamada frente polar, es una zona donde se forman continuas borrascas y se generan fuertes vientos debido a la gran diferencia de temperaturas entre el aire polar y el tropical.
- modelo de Ferrel describe bastante bien muchas de las características de la circulación general, especialmente en la celda de Hadley y en la polar.
- Gran limitación en la celda de Ferrel, en altitud donde el modelo predice vientos del este y lo que se observa es vientos del oeste. → limitación debida consideración de AQUAPLANET
- AQUAPLANET → planeta de agua sin continentes

## 6.2 La circulación general

### CORRIENTES DE CHORRO

<https://www.youtube.com/watch?v=o203JXAnSA0&t=56s>



*Figura 6.6: El chorro polar se deslaza hacia el este, formando las ondas de Rossby. Secuencia mostrando la deformación y embolsamiento de las ondas.*

- La tropopausa sobre el polo se encuentra a unos 7000 m, en las latitudes medias la tropopausa se eleva hasta los 12, 000 m y en el tercer tramo, situado sobre la zona de intertropical, alcanza los 18 000 m.
- CORRIENTES DE CHORRO: El paso de un tramo a otro en el techo de la tropopausa se hace de forma abrupta, en escalones con elevados gradientes de presión y temperatura que originan vientos muy fuertes en forma de chorros.
- Tienen forma de tubo que rodea la tierra de Oeste a Este.
- Hay dos chorros en cada hemisferio.

## 6.2 La circulación general

---

### CORRIENTES DE CHORRO

- El llamado chorro polar, está situado a una altitud media de 10 000 m, coronando el frente polar a la altura de la tropopausa. Tiene un espesor vertical del orden de 1000 m y una anchura variable del orden de pocos cientos de kilómetros. La velocidad del viento en el centro alcanza los 200 km/h y disminuye rápidamente hacia la periferia del chorro.
- El chorro forma ondulaciones, llamadas ondas de Rossby
- Este proceso constituye un mecanismo de transporte de calor en altitud, a través de la barrera que suponen los vientos predominantemente del oeste.
- La corriente del chorro polar sufre variaciones estacionales, siendo más intensa en invierno cuando el gradiente de temperatura es más elevado.

## 6.3 Circulación mesoescalar

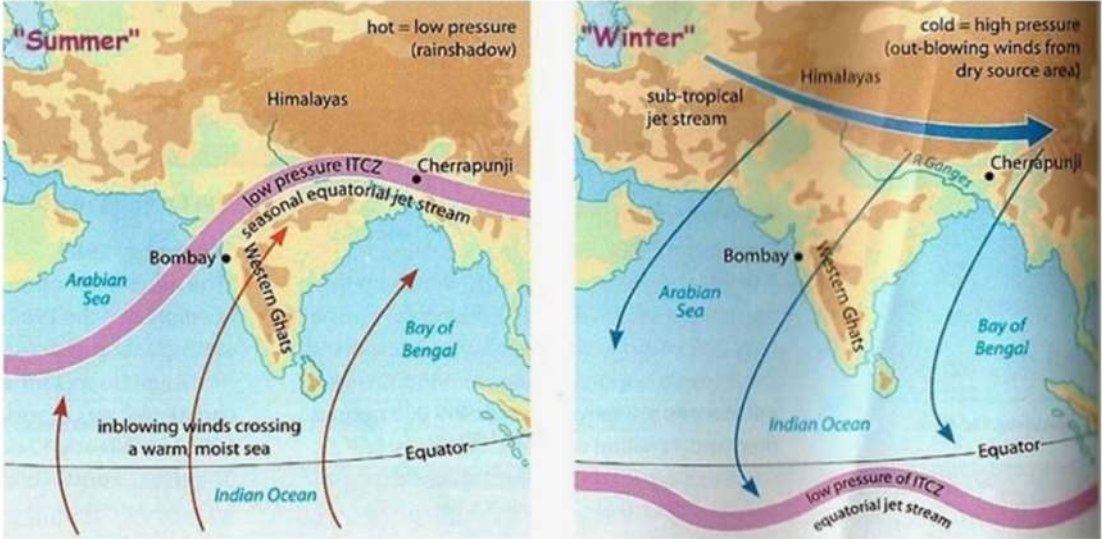
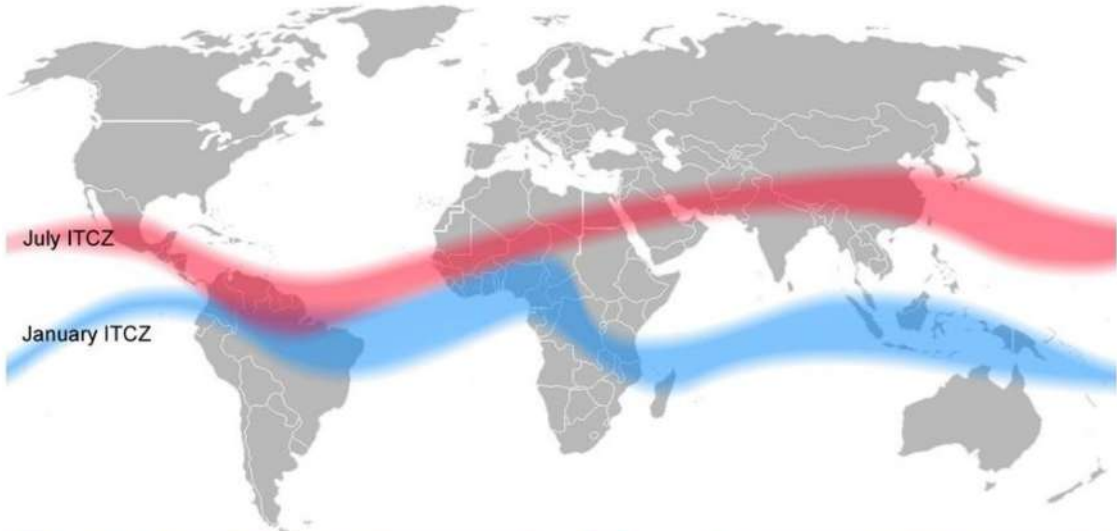
---

Veremos de circulación mesoescalar de dos tipos:

- De origen térmico: debido a diferencias horizontales de temperatura se genera desplazamiento de masas de aire vientos y humedad
  
- De origen orográfico: debido a la presencia de terreno complejo, aquí se dan fenómenos de circulación complejos que causan la desviación de corrientes de aire, calentamiento diferencial de diferentes lados de las montañas y causas de variabilidad de patrones climáticos en las zonas afectadas

# 6.3 Circulación mesoescalar

## CORRIENTES MESOESCALARES DE ORIGEN TÉRMICO: MONZONES



## 6.3 Circulación mesoescalar

---

### CORRIENTES MESOESCALARES DE ORIGEN TÉRMICO: MONZONES

Monsoon de la india → <https://www.youtube.com/watch?v=lpeVqICLTig>



## 6.3 Circulación mesoescalar

---

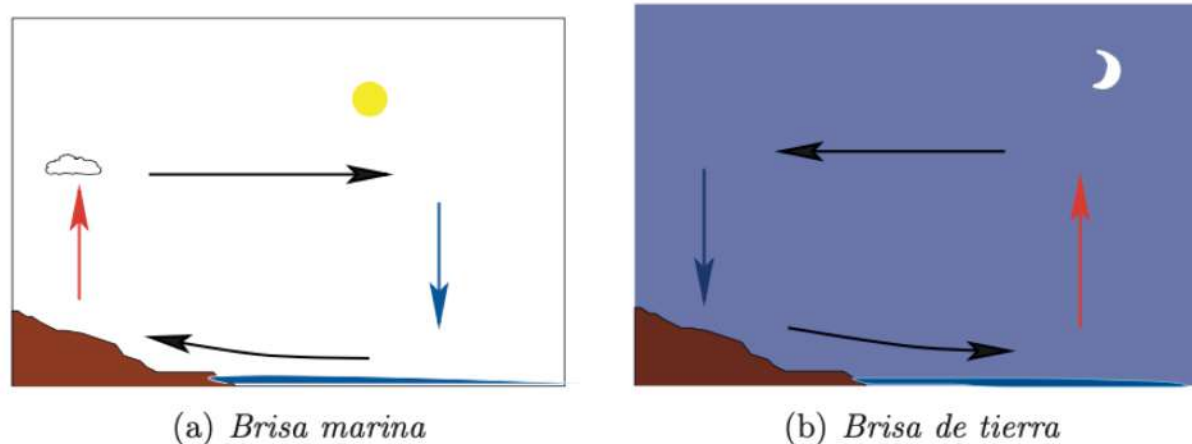
### **CORRIENTES MESOESCALARES DE ORIGEN TÉRMICO: MONZONES**

- Son vientos estacionales, en parte de origen térmico y en parte debidos al desplazamiento estacional de la posición de la zona de convergencia intertropical.
- El Sistema monzónico más importante son los de la India, que son amplificados por la presencia del Himalaya.
- Durante el invierno, el continente se enfría más que las aguas oceánicas, formándose una zona de altas presiones centrada sobre el continente asiático. Este anticiclón genera vientos que soplan desde el interior del continente hacia el mar. → Esto vientos norte e sur-oeste son frescos, con poca humedad y dan lugar a tiempo soleado y seco.
- En verano la situación térmica se invierte, el continente se calienta más que el océano y se forma una baja en el centro de continente.
- En Verano en esta zona de bajas presiones el aire asciende y al hacerlo arrastra aire superficial desde el océano hacia el interior → Este aire es cálido y húmedo y origina lluvias intensas.
- Las precipitaciones que se producen durante el monzón de verano se amplifican por la elevación del aire al incidir sobre la cordillera del Himalaya → efecto orográfico.
- La intensidad y la duración de los monzones sufren anomalías debido a la relación con el fenómeno del Niño.



## 6.3 Circulación mesoescalar

### CORRIENTES MESOESCALARES DE ORIGEN TÉRMICO: CIRCULACIÓN DE OCEANO Y CONTINENTE

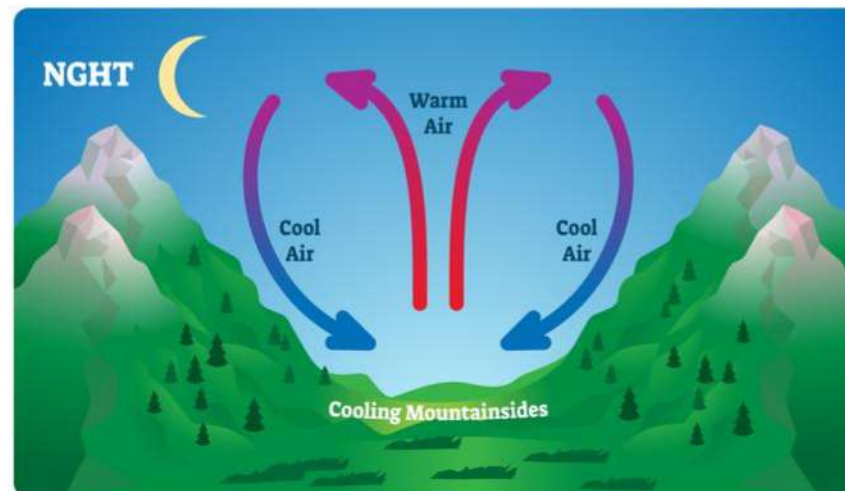
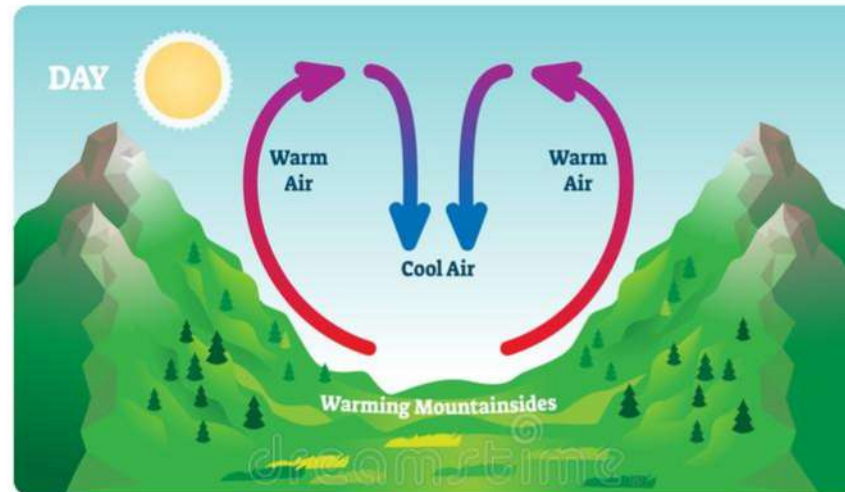


*Figura 6.14: Brisas de costa*

- Circulación térmica a la que se genera por gradientes horizontales de temperatura.
- En las zonas calidas en baja altura se genera baja presión y en zona frías alta presión
- Si hay diferencias de temperatura y presión entre el océano y continente se forma la circulación de oceano y continene
- En el día el continente e calienta más rápido generando baja presión en continente, hacienda que el aire fluya del océano al continente.
- En la noche ya que el continente se enfría má rápido ocurre lo inverso.
- Por conservación de la masa se generan las Corrientes de circulación.

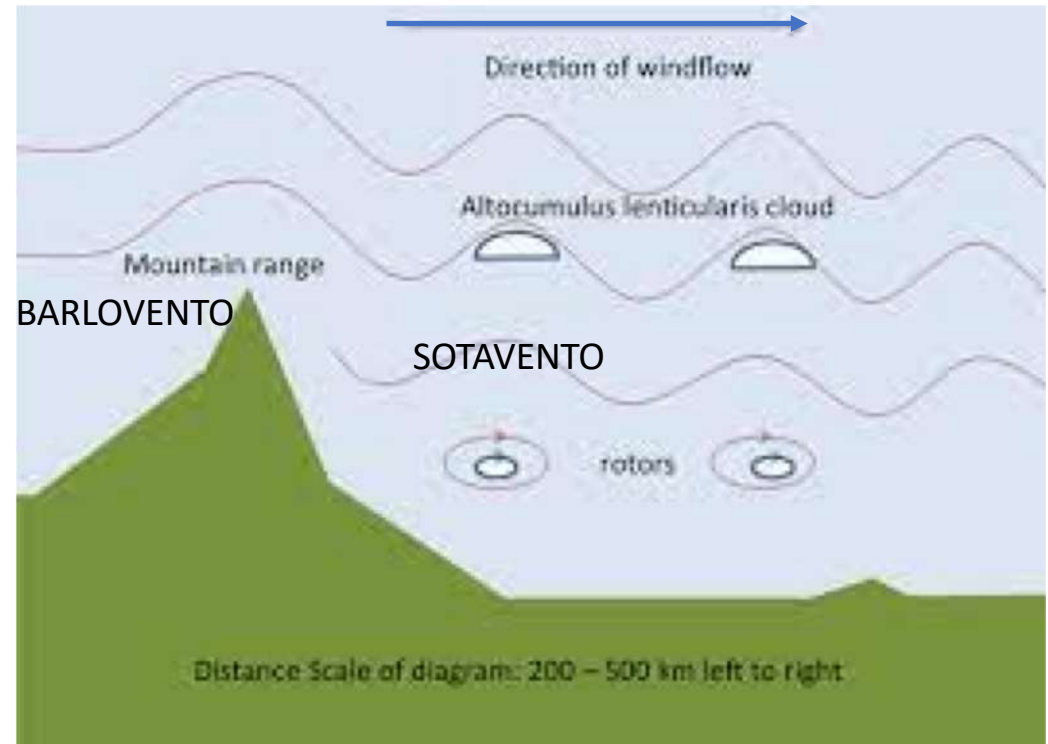
## 6.3 Circulación mesoescalar

### CORRIENTES MESOESCALARES DE ORIGEN TÉRMICO: CIRCULACIÓN DE VALLE MONTAÑA



## 6.3 Circulación mesoescalar

### CORRIENTES MESOESCALARES DE ORIGEN OROGRÁFICO: ONDAS DE MONTAÑA



- Cuando hay grandes gradientes de velocidad se forman vórtices turbulentos y ondas de montaña como ocurre, cuando el viento pasa por encima de un obstáculo.
- La dimensión de los vórtices depende de la velocidad del viento y del tamaño del obstáculo.
- En las crestas de las ondas de montaña se pueden formar nubes de forma lenticular.
- Los rotores son vórtices formados a sotavento que pueden ser peligrosos para la navegación aérea.
- Cuando el viento sopla entre dos obstáculos cuya separación se va estrechando se produce un incremento de la velocidad acompañada con una disminución de la presión por efecto Venturi.

## 6.3 Circulación mesoescalar

### CORRIENTES MESOESCALARES DE ORIGEN OROGRÁFICO: EFFECTO FOEHN

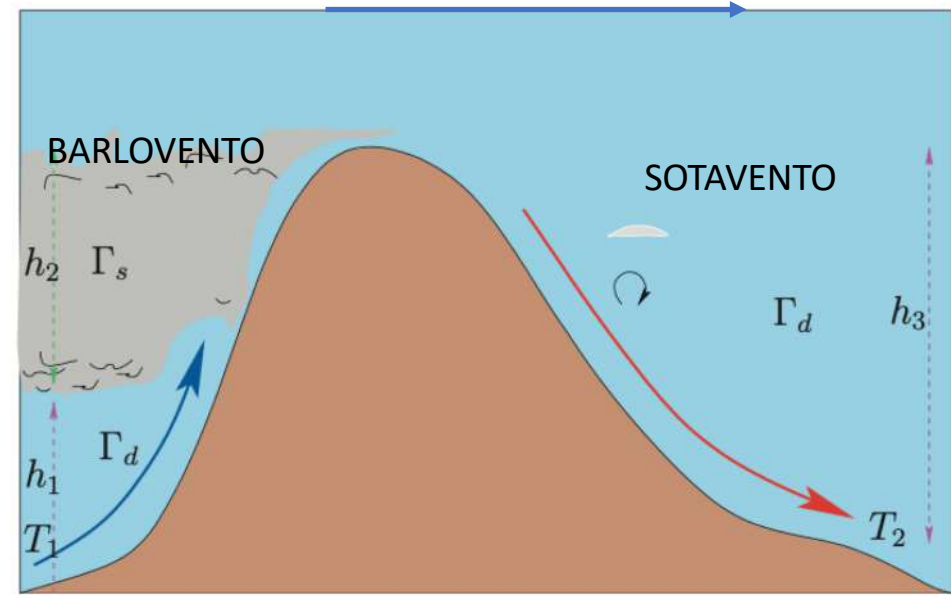


Figura 6.12: Viento Foehn. El viento a sotavento es más caliente y es más seco que el viento que incide sobre la cordillera.

- Supongamos que el viento con una cierta temperatura,  $T_1$ , y humedad relativa,  $h_1$ , se encuentra una cordillera y que para sobrepasarla se ve forzado a elevarse.
- Durante la ascensión se enfría adiabáticamente a un ritmo de aproximadamente un  $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$  que corresponde al gradiente adiabático seco. Si la humedad del aire es tal que se satura antes de llegar a la cima, el vapor de agua empieza a condensarse formándose nubes estratificadas que originan precipitaciones. Desde que el aire se satura el enfriamiento por ascenso disminuye aproximadamente a  $0,65^\circ\text{C}/100\text{ m}$ , que es el gradiente pseudoadiabático húmedo.

## 6.3 Circulación mesoescalar

### CORRIENTES MESOESCALARES DE ORIGEN OROGRÁFICO: EFFECTO FOEHN

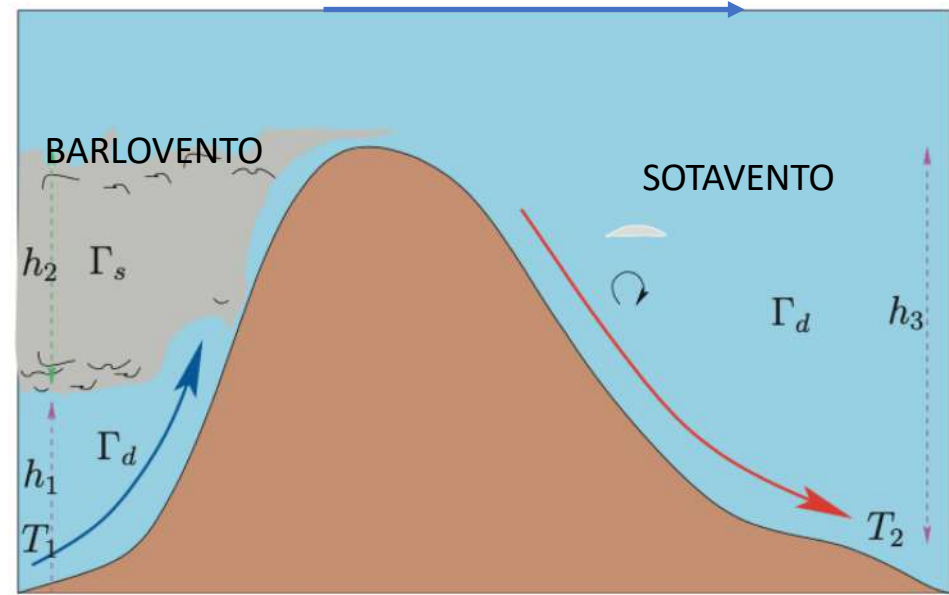


Figura 6.12: Viento Foehn. El viento a sotavento es más caliente y es más seco que el viento que incide sobre la cordillera.

- Después de la cima, el aire desciende por la ladera de sotavento y se calienta según el gradiente adiabático seco.
- Cuando llega al fondo del valle de sotavento, a la misma altitud inicial, el aire está a una temperatura  $T_2$  que es mayor que la inicial  $T_1$  y humedad relativa menor.
- En la ladera de barlovento las nubes se estratifican persistiendo mientras dura el viento. Por la parte de sotavento se pueden formar cirros a cierta altitud y ocasionales nubes de tipo lenticular.
- El aire de sotavento puede producir elevaciones bruscas de temperatura y secar la tierra y la vegetación propiciando la aparición de incendios.
- Es frecuente, pues, que la vertiente a sotavento tenga menos precipitaciones que otras regiones de su alrededor, por lo que esta región se conoce como sombra pluviométrica o desierto orográfico.<sup>24</sup>

# REFERENCIAS

---

- Zuñiga & Crespo (2015): Meteorología y climatología
- Stull.R Practical Meteorology (2017)
- <https://www.youtube.com/watch?v=lpeVqIcLTig>