11. Vientos

a. Objetivos del Capítulo

- Explicar las fuerzas que causan el movimiento del aire, y definir aquellas otras fuerzas que actúan sobre la misma
- Comprender las diferentes escalas del viento
- Aprender sobre el efecto de Coriolis en el Hemisferio Norte

b. Conceptos

Fuerza de Coriolis
Fuerza de Gradiente
Zona de Convergencia Intertropical
Cortante del viento
Corriente de Chorro
Brisa Marina
Brisa de Tierra

c. Lectura Suplementaria

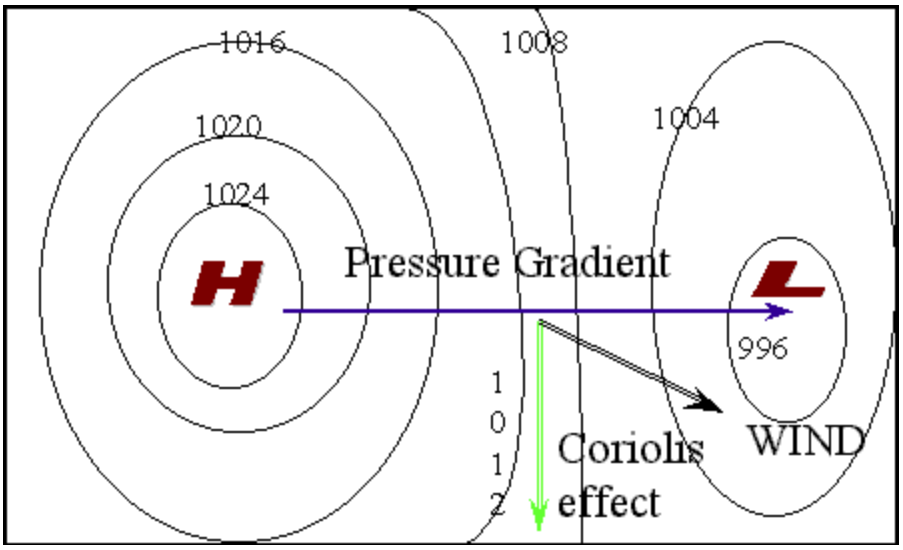
Geovisión - Vientos

d. Trasfondo conceptual

El viento es el movimiento del aire debido al calentamiento desigual de la superficie terrestre y a la rotación de la Tierra. El viento posee dirección y magnitud.

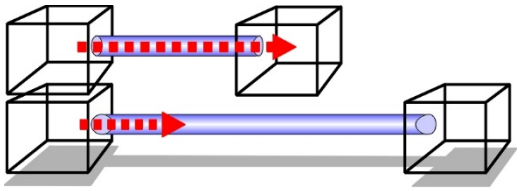
Una fuerza se define como algo que causa que un objeto en reposo se mueva o altere su movimiento si se está moviendo. Existen varias fuerzas que tienen influencia sobre el viento.

Las fuerzas que actúan sobre el movimiento del viento se deben a:
Gradientes de presión de aire, la fuerza centrípeta, el efecto de Coriolis y la fricción.



En esta imagen se muestran dos de las fuerzas que afectan el movimiento del viento. El gradiente de presión dirige el viento de un área de mayor presión a una de menor presión, sin embargo, la rotación de la Tierra causa que el llamado efecto o fuerza de Coriolis, perpendicular a la fuerza de gradiente, dirija el viento en una dirección distinta. Imagen de www.home.comcast.net.

1 - Gradientes de presión



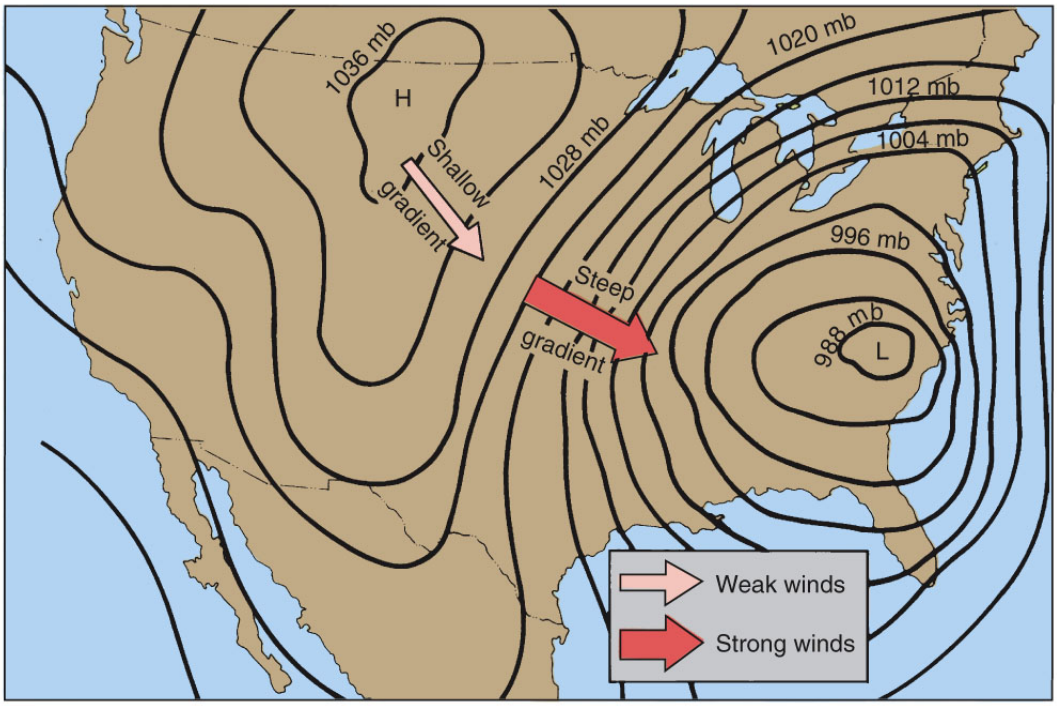
Un gradiente es simplemente un cambio en alguna propiedad con respecto a la distancia. Un gradiente en la presión de aire existe cuando la presión del aire varía de un lugar a otro.

Los gradientes de presión tienen en la atmósfera variación tanto horizontal como vertical. Un gradiente vertical es un factor constante en la atmósfera porque la presión del aire *disminuye* con la altura. Un gradiente de presión horizontal se refiere a cambios en la presión del aire a lo largo de la superficie a una altura constante.

GOTAS DEL SABER: Los cambios horizontales en los gradientes de presión son trazados en un mapa meteorológico, tomando las lecturas de las medidas de presión realizadas en cada estación meteorológica. Luego se trazan líneas para unir las localidades con lecturas similares

*de presión de aire. Estas líneas se conocen como **isóbaras**, son dibujadas en intervalos de 4 unidades. Las unidades de presión más comunes son los milibares.*

En un análisis de isóbaras se puede determinar los centros de alta y baja presión. Cuando se obtienen isóbaras más unidas significa que la presión del aire cambia rápidamente con la distancia, y el gradiente es mayor. Si las isóbaras están separadas, quiere decir que la presión del aire cambia menos con la distancia. El gradiente de presión se mide en dirección perpendicular a las isóbaras. Si relacionamos esto con el viento encontraremos que el viento es fuerte donde el gradiente de presión es mayor y se representa en el mapa por isóbaras más pegadas. En cambio, el viento será más débil donde el gradiente de presión es menor o sea, isóbaras despegadas. La fuerza que causa que las parcelas de aire se muevan como consecuencia del gradiente de presión del aire se conoce como fuerza del gradiente de presión.

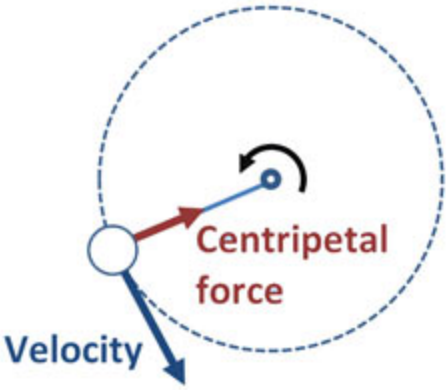


Este esquema muestra cómo se vería un mapa isobárico con áreas de alta y baja presión (H y L, respectivamente) sobre Estados Unidos. Lugares en donde las líneas están más separadas, son lugares con un gradiente débil y, por consiguiente, vientos suaves. En cambio, en donde las líneas se encuentran más cercanas entre sí, el gradiente es mayor, y los vientos más fuertes. El viento siempre tiende a moverse de un área de alta presión a un área de baja presión. Imagen de www.geogrify.net

2 – Fuerza centrípeta

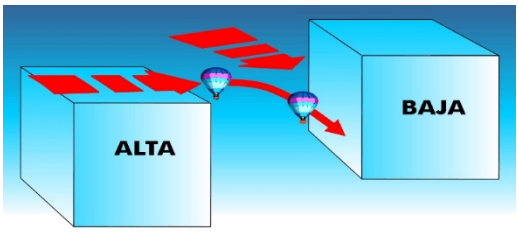
Imaginemos que amarramos una roca a una cuerda y comenzamos a moverla en forma de círculos, describimos de esta manera una órbita circular con radio constante. El comportamiento de la roca muestra la Primera Ley de Movimiento de Newton. En ésta ley, la fuerza neta es hacia adentro, perpendicular a la dirección del movimiento y hacia el centro de la órbita circular. Esta

fuerza se le conoce como fuerza centrípeta y no debe confundirse con la fuerza centrífuga. En el caso de los vientos, la fuerza centrípeta es la responsable de que los vientos sigan una dirección en forma de curva en su movimiento horizontal.



La fuerza centrípeta siempre será perpendicular a la dirección de movimiento (velocidad) del objeto moviéndose en órbita circular. Imagen de www.sciencekids.co.nz

3 - Efectos de Coriolis



Si estuviésemos en un lugar en el espacio, sin el efecto de la rotación terrestre, y miramos a la Tierra, al pasar varios minutos u horas rápidamente podríamos identificar un sistema de mal tiempo y al seguirlo veríamos en nuestra perspectiva que el centro de este sistema se mueve en línea recta a velocidad constante. Al mismo tiempo, un observador que rastrea el mismo sistema, pero desde la Tierra, ve desde su perspectiva, que el sistema se está moviendo en forma curva. Ambas percepciones son correctas debido a que ambos tienen diferentes marcos de referencia: el que está en Tierra usa los puntos cardinales en relación con la rotación del planeta aunque no se percate de esto porque él (o ella) es parte del sistema de rotación y se encuentra en ésta. En cambio, el que se encuentra en el espacio sólo sigue el movimiento del sistema o tormenta con respecto a un sistema de coordenadas sin la rotación del planeta. Hagamos referencia a la primera ley de movimiento y a la fuerza centrípeta para ver que los movimientos en curva implican una fuerza neta donde un movimiento rectilíneo sin aceleración tiene un balance de fuerzas. Si lo aplicamos al ejemplo del sistema de mal tiempo, las fuerzas netas funcionan al usar el sistema de coordenadas con la rotación. Desde el espacio veríamos que las fuerzas están balanceadas y el sistema se mueve en línea recta, si no existiese el sistema de coordenadas. Si cambiamos nuestro marco de referencia de un sistema sin rotación a uno en rotación veremos que las fuerzas netas son responsables de los movimientos en curva al dejarnos llevar por el

sistema de coordenadas en rotación. La fuerza deflectiva se conoce como Efecto o Fuerza de Coriolis.

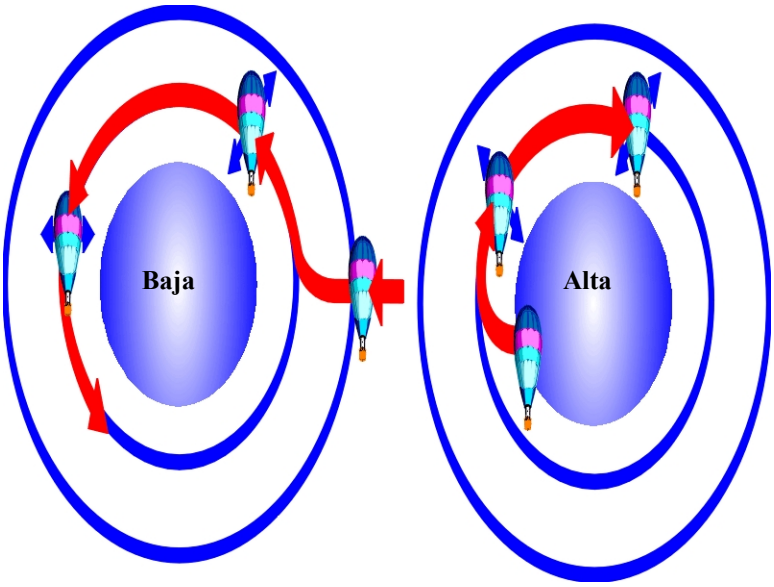
La dirección y velocidad del viento se miden respecto al norte y sur, este y oeste, hacia arriba y abajo en el plano de referencia de la rotación del planeta. En cuanto a la circulación el efecto de Coriolis causa que los vientos se desvíen hacia la derecha de su dirección original en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda de dirección original en el Hemisferio Sur, precisamente debido a la rotación de la Tierra y al hecho de que no somos una esfera completamente circular, si no que el Equador es más ancho (y gira más rápido) que los polos.

Para un observador en el Polo Norte, el planeta rota en contra de las manecillas del reloj y si estuviese en el Polo Sur, el planeta rota a favor de las manecillas del reloj, la rotación del viento en dirección contraria en ambos hemisferios se debe a la deflexión causada, el efecto de Coriolis. Te invitamos a ver el video: Fuerza de Coriolis donde se explica este efecto con varias demostraciones divertidas.

VIDEO EN ESPANOL-Fuerza de Coriolis: https://www.youtube.com/watch?v=nUn2yqL4dqY

VIDEO: CORIOLIS EFFECT- POR QUE LOS HURACANES GIRAN (Ingles) https://www.youtube.com/watch?v=i2mec3vgeaI

4 – Fricción



Otra de las fuerzas que actúa sobre el viento es la fricción. Sabemos que la fricción tiene que ver con la resistencia que un objeto encuentra en la medida que se mueve en contacto con otros

objetos. La fricción en el flujo de un fluido se conoce como viscosidad, existen dos tipos de ésta en nuestra atmosfera baja: la molecular y los remolinos de viento ("eddies" en inglés). El movimiento al azar de las moléculas que componen un líquido o un gas, se conoce como viscosidad molecular. Esta genera cierta cantidad de fricción en la atmosfera. Sin embargo, el segundo caso de fricción es muy importante. La fricción que aumenta por movimientos irregulares más grandes se le conoce como remolinos de viento. En relación con los vientos, los remolinos disminuyen rápidamente con la altura, pues es al aire está fuera de contacto con los obstáculos responsables de la resistencia como son las montañas y las distintas superficies de terreno. Entonces, la velocidad del viento aumenta con la altura. La viscosidad o fricción disminuyen la velocidad del viento y alteran el movimiento del viento cerca de la superficie terrestre. La zona atmosférica en la cual el viento resiste por la fricción se le conoce como la capa de fricción.

Los instrumentos para medir las características del viento:

El anemómetro es el intrumento utilizado para medir la velocidad del viento. En adición, este muestra una veleta que nos ayuda a conocer la dirección del viento. Existen muchos otros instrumentos y tecnocas para estudiar las cualidades del viento, pero este es el más común. Imagen de Campbell Scientific.

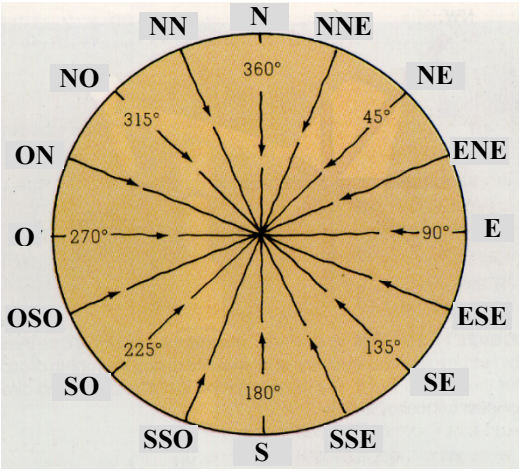
Para conocer la velocidad y dirección del viento existen instrumentos llamados anemómetros, que los meteorólogos utilizan para monitorearlo. Entre éstos se encuentra:

1. La veleta de viento. Imaginemos una flecha que se balancea libremente, ésta consiste de una punta con un indicador que señala la dirección del viento y un contra peso, el viento mueve el contra peso y la flecha indica la dirección del viento.

2. Otro instrumento es la media de viento, consiste de una bolsa de tela en forma de cono abierta en ambos lados. La punta más ancha se mantiene abierta por un aro de metal que está sujetado por un poste y así puede rotar libremente. Cuando el aire entra por la punta más ancha, éste pasa a través y marca la dirección del viento.
3. El anemómetro de copas consiste de 3 ó 4 copas hemisféricas montadas sobre un poste vertical. Por lo menos una de las copas es movida en cualquier momento cuando el viento sopla. La rotación de las copas es calibrada por una computadora para leer en metros por segundo(m/s), kilómetros por hora(km/h), millas por hora (mph) o nudos (kt).

Una media de viento nos indica la dirección del viento. Es comúnmente utilizada en los aeropuertos. Imagen de www.aviassociates.com

La dirección del viento suele ser un tema confuso pues cuando se ofrece una dirección, esta se refiere a la dirección de dónde provienen y **no** hacia donde se dirige. Por ejemplo, los vientos alisios o *vientos del este* provienen del *este* y se mueven hacia el oeste.

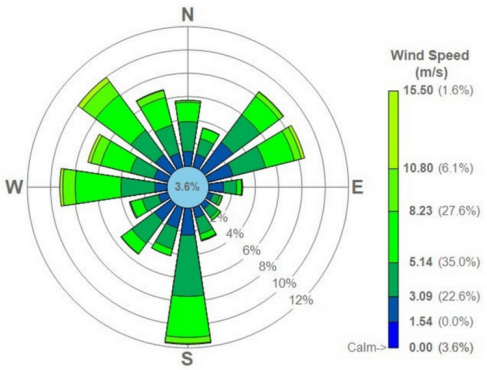


La dirección del viento siempre se refiere a la dirección de donde viene el viento. Imagen adaptada por Ada Monzón.

GOTAS DEL SABER: Los vientos cortantes ("wind shear" en inglés) se refieren a cambios rápidos en dirección y /o velocidad del viento. Este se puede encontrar cerca de la superficie, en la corriente de chorro o a cualquier altura en la atmósfera. Detectar donde ocurren las cortantes de viento es muy importante para prevenir accidentes de aviones, y es por esto que muchos aeropuertos tienen detectores de cortante de viento.

Vientos globales:

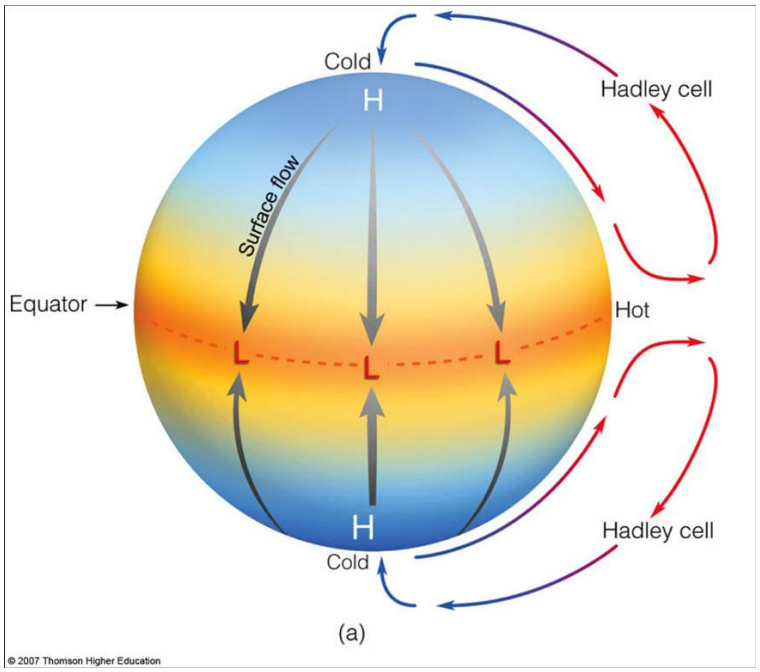
En algunos lugares, el viento proviene más frecuentemente de un lugar que de otro. Habrás escuchado los llamados vientos prevalecientes, éste nombre se le da a los vientos que provienen de una misma dirección en un periodo de tiempo determinado. Los vientos prevalecientes se pueden presentar con la llamada rosa de viento, ésta indica el porciento de tiempo que el viento sopla de diferentes direcciones.



Aquí un ejemplo de la llamada rosa de vientos que se utiliza para conocer la dirección predominante del viento. La posición de las barras indica la dirección correspondiente, el

tamaño de las barras muestra la cantidad de veces que el viento fue en esa dirección (en porciento) y los distintos colores indican las velocidades del viento en esa dirección. Imagen de www.envirotech-online.com.

En la escala planetaria el viento muestra patrones de circulación que son los responsables del desarrollo y desplazamiento de los sistemas meteorológicos de menor escala. Para entender más fácil esto visualicemos un modelo sobre la circulación planetaria, que consiste de una esfera de superficie sólida y uniforme la cual **no** rota sobre su eje. Asumamos que el sol calienta la región ecuatorial más intensamente que en las regiones polares. En la parte que está de día el gradiente de temperatura se desarrolla entre el Ecuador y los polos. Como consecuencia se forman dos celdas, una en cada hemisferio. El aire frío y denso llega y desciende hasta los polos y fluye por la superficie hacia el Ecuador donde el aire caliente y liviano asciende. Una vez arriba los vientos fluyen hacia los polos, completando la circulación convectiva.

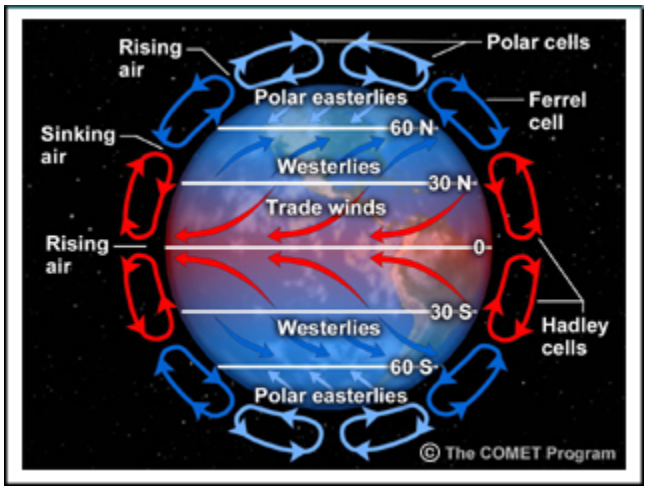


Esquema del modelo de circulación de una sola celda. La H y la L muestran áreas de alta y baja presión con aire descendente y ascendente, respectivamente. Los colores indican temperaturas: rojo-temperatura cálidas y azul-temperaturas frías. Imagen de www.apollo.lsc.vsc.edu.

Este modelo muestra condiciones idealizadas y una Tierra sin el efecto de la rotación, sin embargo, ya conocemos que el efecto de la rotación de nuestro planeta causa un cambio en el comportamiento de los vientos. Si nuestro planeta comienza a rotar, el Efecto de Coriolis se manifiesta. En el Hemisferio Norte los vientos superficiales se desplazan a la derecha, en el Hemisferio Sur se desplazan hacia la izquierda. Además en nuestro modelo los vientos superficiales se mueven en dirección contraria a la rotación del planeta.

La circulación general (pero no real) en la atmósfera mantiene el modelo antes descrito y en cada hemisferio se divide en tres zonas de vientos. En el Hemisferio Norte el promedio de los vientos provienen del noreste desde el Ecuador hasta los 30° de latitud, del suroeste desde los 30° hasta los 60°, y del noreste desde los 60° hasta el Polo Norte. En el Hemisferio Sur, los vientos de superficie son del sureste desde el Ecuador hasta los 30° de latitud, del noroeste desde los 30° hasta los 60°, y del sureste desde los 60° hasta el Polo Sur.

Los vientos superficiales convergen a lo largo del Ecuador y a lo largo de la latitud 60º. En estas áreas de convergencia, el aire asciende, se expande y enfría y se desarrollan nubes y precipitación; estas son áreas semi continuas de baja presión. Por el contrario, los vientos superficiales divergen en los polos y a lo largo de la latitud 30°. El aire, en las áreas de divergencia, desciende, se comprime y las condiciones del tiempo son generalmente despejadas; éstas son áreas semi continuas de alta presión, como por ejemplo: el área de alta presión que observamos al este de los E.U. cerca de las Bermudas.

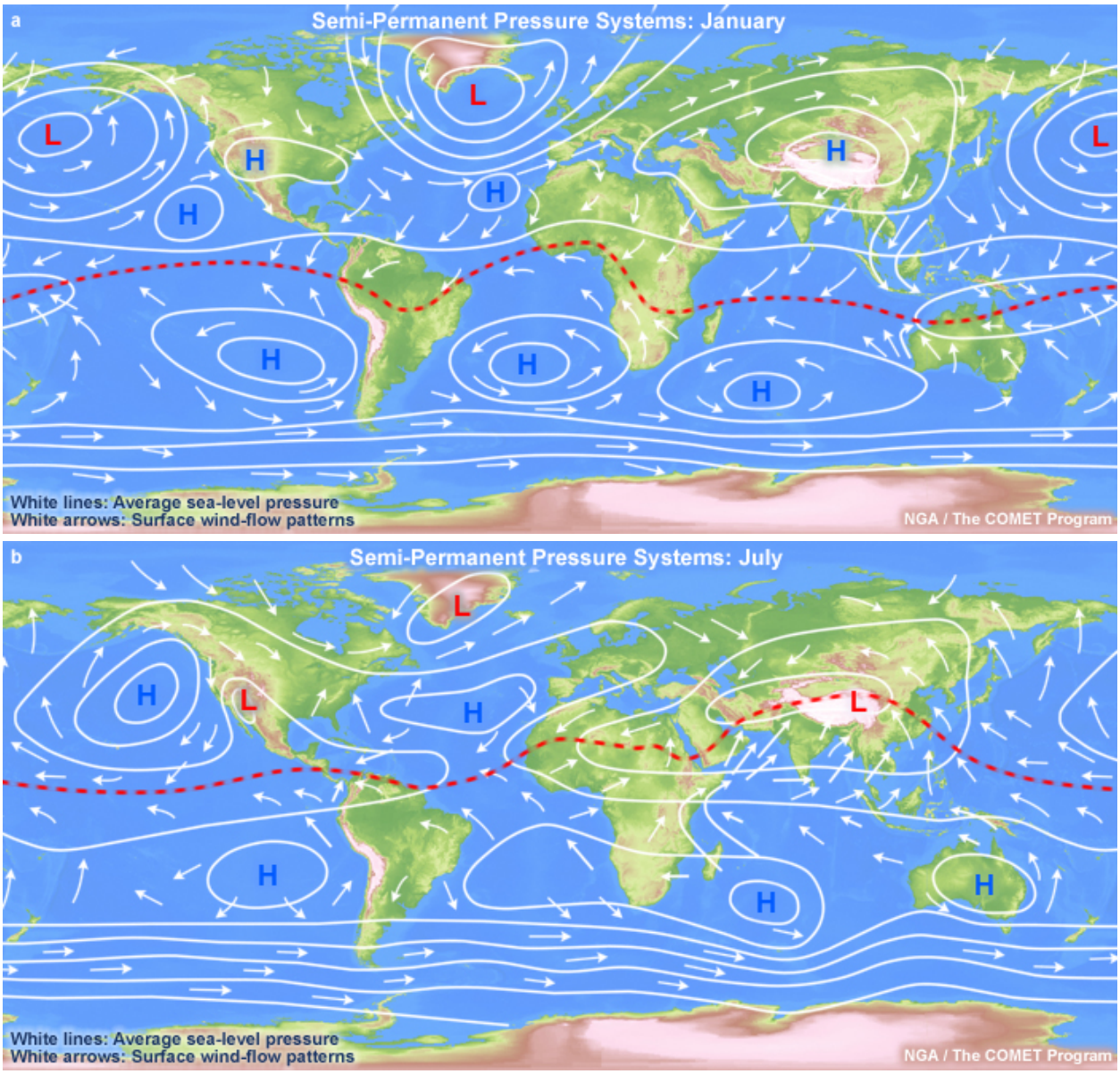


Este modelo presenta los patrones generales idealizados pero más cercanos a la realidad de la circulación global de vientos. Nuevamente el color azul se refiere a masas de aire relativamente frías y el rojo, a masas de aire cálidas. Imagen de The COMET Program, UCAR.

Si añadimos las características del planeta Tierra como los continentes y océanos a nuestro modelo de planeta, la localización de estas celdas se tornan más complejas y se acerca aún más a la realidad. Los patrones reales en la presión del aire y la circulación de vientos global son sumamente complejos y difíciles de ilustrar, aunque computadoras con gran memoria y rapidez presentan formas gráficas de la circulación del aire a nivel mundial cada 6 horas para que sean analizados por los meteorólogos.

En los mapas sobre la presión de aire a nivel del mar se pueden observar algunas áreas de presiones relativamente altas y bajas. Estos se conocen como sistemas semipermanentes de

presión. Los sistemas de presión incluyen los anticiclones subtropicales, la zona de convergencia intertropical y los sistemas de baja presión subpolares.



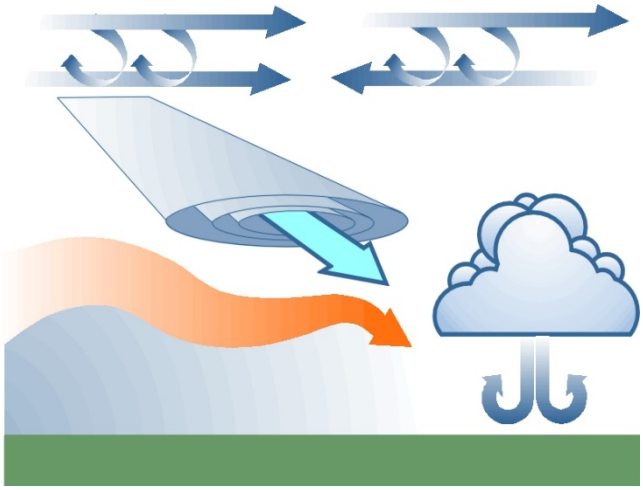
Los sistemas de presión semi permanentes y las zonas de convergencia (línea roja entrecortada) cambian de posición en diferentes momentos del año y dependiendo de varias condiciones. Aquí las posiciones promedio de estos sistemas durante a) Enero y b) Julio. Imagen de The COMET Program, UCAR.

Los anticiclones subtropicales son parte de la circulación planetaria que se encuentran dentro de las latitudes subtropicales, esto es entre las latitudes 30° norte y sur.

La Zona de Convergencia Intertropical (“Intertropical Convergence Zone” o ITCZ, por sus siglas en inglés), es el área donde se desarrollan las condiciones del tiempo más activas. Es un cinturón de tronadas discontinuas paralelas al Ecuador donde los vientos de ambos hemisferios convergen, por lo que el aire se ve forzado a ascender y genera una línea continua de nubes y tronadas. Su posición promedio se ubica en la latitud en la cual la temperatura promedio es la más alta en la Tierra, también es conocido como el ‘ecuador caliente’. De esta zona surgen algunos disturbios iniciales que pueden producir huracanes en el trópico.

A medida que el aire en los niveles altos fluye del ecuador hacia el norte, la fuerza de Coriolis desvía a estos vientos a la derecha en el Hemisferio Norte. Es por esto que en el trópico los vientos en los altos niveles fluyen del oeste (en dirección contraria a los vientos de superficie que son los del este o alisios). Estos vientos fluyen en forma ondulatoria, y de acuerdo a la dirección de movimiento del viento se distingue entre altas y bajas presiones (o vaguadas).

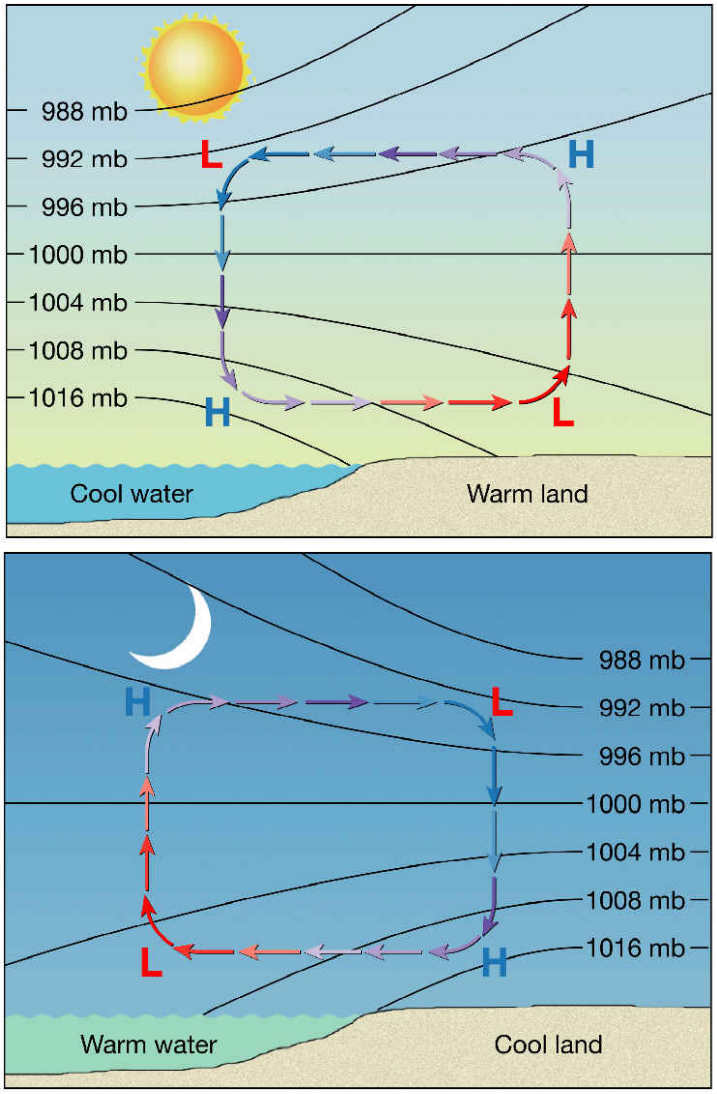
Recordarás cuando discutimos la atmósfera que mencionamos sobre las corrientes de chorro (también conocido en inglés como “jet stream”). Estos vientos forman parte de la circulación a escala planetaria; son corrientes de viento que fluyen rápidamente por miles de kilómetros de largo, algunos cientos de kilómetros de ancho y solo algunos kilómetros de espesor. En la parte central, la velocidad de los vientos excede los 100 nudos y en ocasiones alcanzan hasta 250 nudos. Estas corrientes de chorro se sitúan en la tropopausa a un altura entre los 10 y 15 km, aunque esta elevación puede ser mayor o menor.



Se conocen dos tipos de éstas corrientes: la que se sitúa aproximadamente a 13 km del sistema de alta presión subtropical se conoce como corriente de chorro subtropical, y la que se encuentra a unos 10 km del frente polar como la corriente de chorro del frente polar. La importancia de la localización de la corriente de chorro es que tiende a causar inestabilidad en la atmósfera. Los aviones deben de conocer exactamente su nivel por la turbulencia que puede generar, y para determinar el consumo de gasolina al viajar de un lugar a otro. Además las condiciones a nivel de

superficie debajo de la corriente de chorro tienden a ser de mal tiempo, pues crea gran succión en la columna de aire, y por lo tanto las nubes pueden crecer mejor y producir más lluvia.

Vientos locales:



Al ser una isla Puerto Rico se ve directamente afectado por lo que conocemos como la Brisa Marina y la Brisa de Tierra. Esto es una celda que alterna direcciones del viento durante el día y la noche debido al calentamiento desigual de las superficies de agua y tierra. Imagen de www.geography.hunter.cuny.edu.

Localmente la circulación se asocia a fenómenos como la brisa marina y la brisa de tierra. Cuando tanto la tierra como el agua son expuestos a la misma radiación solar, la tierra se calienta más que el agua superficial. La tierra calienta el aire circundante disminuyendo su densidad. Comparado con la tierra, el agua es relativamente fría y por lo tanto el aire que se encuentra sobre ésta. Como consecuencia se desarrolla un gradiente de presión horizontal local entre la tierra y el agua, siendo la presión más baja sobre tierra y más alta sobre agua. En respuesta al gradiente en presión, el aire más frío desde el agua entra a tierra, estableciendo una corriente continua, con el ascenso del aire sobre la tierra caliente y que más tarde regresa hacia el agua relativamente fría. Esta corriente de mar hacia tierra se le conoce como la *brisa marina*. La brisa marina es un sistema de circulación que se desarrolla sobre la superficie hasta el kilómetro más bajo de la troposfera. La brisa comienza cerca de la costa varias horas después que sale el sol y gradualmente se expande hacia tierra adentro y sobre el cuerpo de agua; alcanzando su mayor fortaleza durante la tarde. Tierra adentro ésta se extenderá solo unos cientos de metros o hasta decenas de miles de kilómetros dependiendo de la topografía del área. Cerca del atardecer, la brisa marina disminuye y es reemplazada por la circulación opuesta. Tarde en la noche, los vientos superficiales comienzan a soplar desde la tierra hacia el mar, esto se conoce como la *brisa de tierra*. Este cambio en la dirección se debe por el reverso en la diferencia de calor entre la tierra y el agua. En la noche la superficie de la tierra se enfría más rápido que la superficie del agua. El aire sobre tierra se enfría y se torna más denso que el aire sobre la superficie del mar. El gradiente horizontal en la densidad del aire aumenta el gradiente de presión de aire siendo la presión más alta sobre tierra y la más baja sobre el mar. La brisa de tierra es más fuerte cerca del amanecer, pero tiende a ser más débil que la brisa marina.