

## GF 3003 Introducción a las Ciencias Atmosféricas

### Control 3 SP 2010

Profesora de Cátedra: Laura Gallardo

Profesoras Auxiliares: Constanza Maturana, Constanza Paredes, Lucía Scaff

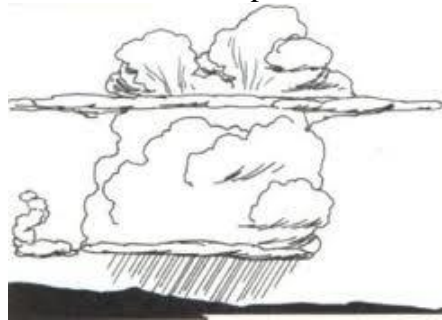
Noviembre 18 de 2010

Tiempo máximo disponible: 2.3 horas (140 minutos).

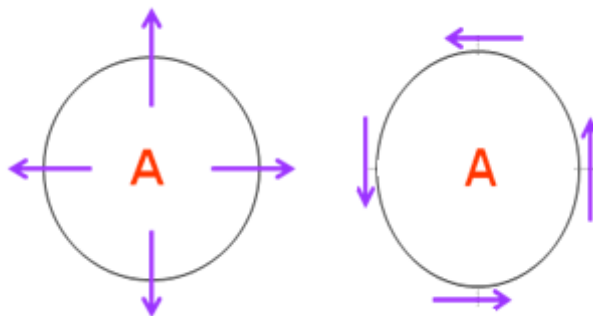
**Sé muy clar@ y explícit@ en tus respuestas.** En los resultados numéricos considera el número correcto de cifras significativas.

#### 1. Conceptos

- a) La imagen muestra el esquema de nube convectiva profunda como las que se dan en la zona de convergencia intertropical o sobre la Cordillera de Los Andes. Explica por qué la aproximación hidrostática no es aplicable en este caso [1.5 puntos]



- b) Considera una nube cálida del tipo estratocúmulo marino como el tipo de las que se suelen presentar en el Pacífico Sur Oriental. Explica cómo puede crecer una gotícula de nube (protogota  $\sim 1\text{-}2\ \mu\text{m}$  de radio) hasta una gota de llovizna ( $\sim 20\text{-}30\ \mu\text{m}$  de radio). [1.5 puntos]
- c) En zonas costeras es frecuente observar brumas (agua condensada) aún cuando el aire está sub-saturado (humedad relativa  $\sim 90\%$ ). ¿Qué facilita la formación de nubes en dichas condiciones? [1.5 puntos]
- d) Considera una alta presión (A) en una zona tropical muy cercana al ecuador terrestre en el hemisferio sur. ¿Cuál de las figuras describe la circulación a nivel de superficie? Explica por qué. [1.5 puntos]

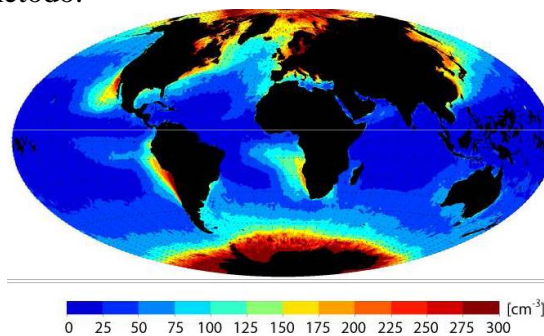


## 2. Densidad de gotas de nubes

En el caso de gotas que son mucho mayores que la longitud de onda de la luz visible y para un espectro angosto de tamaño de gotas, el llamado radio efectivo de las gotas es aproximadamente igual al radio promedio de las gotas. El espesor óptico de la nube ( $\tau$ ) queda dado aproximadamente por:

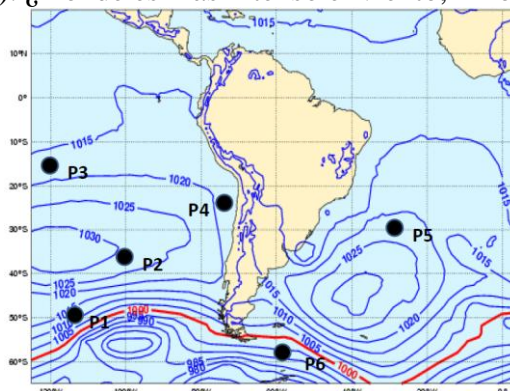
$$\tau = 2\pi hr_{ef}^2 N$$

donde  $h$  es el espesor de la nube y  $N$  es número de gotas por unidad de volumen. Deriva una expresión aproximada para  $N$  en términos de la densidad de agua por unidad de área en  $\text{kg}/\text{m}^2$  (LWP por su nombre en Inglés, *Liquid Water Path*), la densidad del agua, el espesor de la nube y el radio efectivo. Supón que el contenido de agua líquida de la nube en  $\text{kg}/\text{m}^3$  (LWC por su nombre en Inglés, *Liquid Water Content*) es constante en toda la nube. La figura muestra una estimación de la distribución global de la densidad de gotas usando este método.

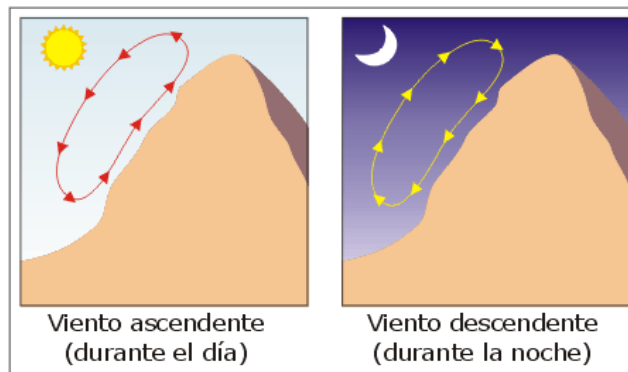


## 3. Dinámica, vientos y frentes

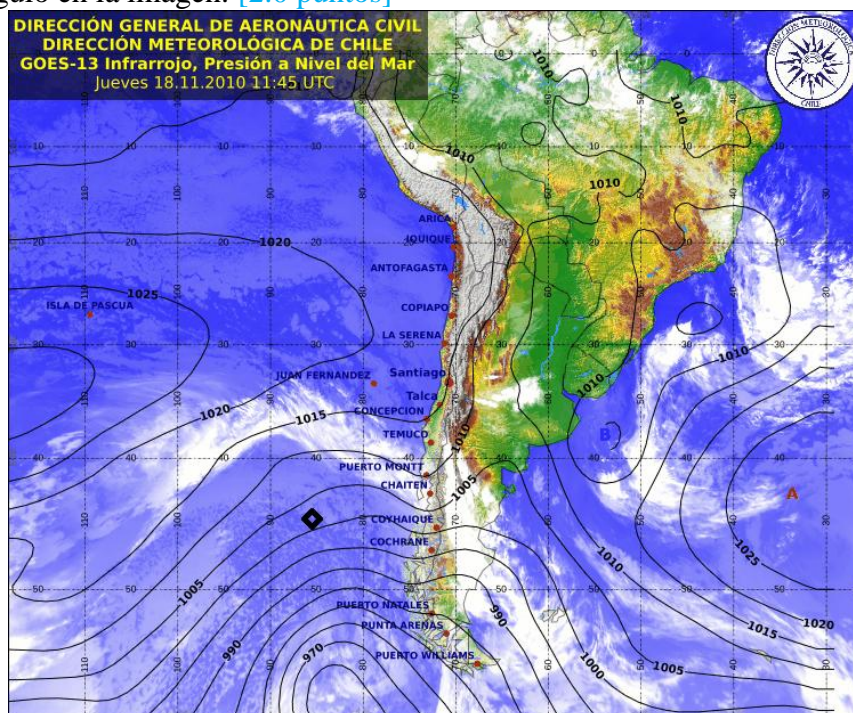
- a) La siguiente es una carta de presión de superficie para América del Sur según se calcula a partir de las ecuaciones de Navier-Stokes con un modelo de pronóstico del tiempo ([www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)). En ella se indica 6 puntos: P1, P2, P3;...,P6. Indica la dirección del viento geostrófico en un punto con circulación ciclónica y en otro con circulación anticiclónica usando como coordenadas las coordenadas geográficas (norte, sur, este, oeste). ¿Dónde es más intenso el viento, P1 o P5? [2.0 puntos]



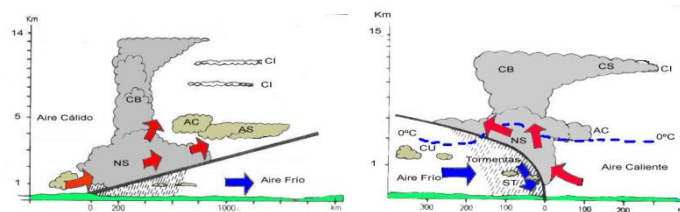
- b) En la cuenca de Santiago se suele observar vientos ladera arriba durante las horas de la tarde y ladera abajo durante las horas de la noche. Explica la aparición de esta brisa en términos del calentamiento diferencial entre el valle y la ladera andina. Indica si el efecto de Coriolis alcanza o no a ser perceptible y por qué. [2.0 puntos]



- c) La carta de superficie siguiente muestra la observación de la nubosidad en el canal infra-rojo y la presión superficial. A partir de esta imagen describe el tipo de nubosidad observable en la isla de Juan Fernández y en un barco indicado por el rectángulo en la imagen. [2.0 puntos]



NB. Típicamente, se observan las siguientes nubes en conexión con frentes cálidos y fríos.



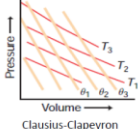
## Formulario

Si hay liberación/consumo de calor latente:

$$dq = c_p dT + g dz = -L_v d\omega_s$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{dz} = -\frac{g}{c_p} - \frac{L_v}{c_p} \frac{d\omega_s}{dz}$$

$$\Gamma_s = \Gamma_d - \frac{L_v}{c} \frac{d\omega_s}{dz}$$



Clausius-Clapeyron

$$\frac{1}{e_s} \frac{de_s}{dT} \approx \frac{L}{RT^2}$$

$$e_s \approx 6.11 \exp\left(5420 \left[\frac{1}{273} - \frac{1}{T}\right]\right)$$

Entropía  $S = \int \frac{dq}{T} \leq 0$

$$S = k_B \ln \left( \frac{N!}{\prod_{i=1}^N N_i!} \right)$$

En un proceso reversible:

$$ds = c_p \frac{d\theta}{\theta}$$

$$s = c_p \ln \theta + \text{constant}$$

$$\rightarrow \left(\frac{de_s}{dT}\right)_s = \frac{L}{T(\alpha_v - \alpha_l)} \approx \frac{L}{T\alpha_v}$$

$$\Delta E = A\sigma - nV(\mu_v - \mu_l)$$

$$\Rightarrow \Delta E = 4\pi R^2 \sigma - \frac{4\pi R^3}{3} nkT \ln\left(\frac{e}{e_s}\right)$$

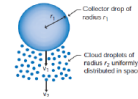
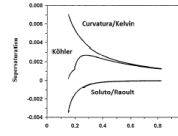
$$\frac{e_s}{e} = \exp\left(\frac{2\sigma}{nkTr^*}\right) \left[ 1 + \frac{imM_{\text{gas}}}{M_{\text{soluto}} \left(\frac{4\pi r^3}{3} \rho_l - m\right)} \right]$$

$$\frac{e_s}{e} \approx 1 + \frac{a}{r^*} - \frac{b}{r^{*3}}$$

$$r \frac{dr}{dt} = G_t S$$

$$\frac{d(\Delta E)}{dR} = 0$$

$$\Rightarrow r^* = \frac{2\sigma}{nkT \ln\left(\frac{e}{e_s}\right)}$$



$$\frac{dr_1}{dt} = \frac{v_1 w_l E}{4\rho_l}$$

$$\sum \vec{F} = m(\vec{a} + 2\vec{\Omega} \times \vec{v} - \Omega^2 \vec{r})$$

$$\frac{F_{\Delta p}}{m} = -\frac{1}{\rho} \nabla p$$

$$\frac{F_{\sigma}}{m} = -\frac{GM_{\text{ Tierra}}}{r^2} \hat{r} \approx -g \hat{r}$$

Newton's second law

$$\frac{D_x u}{Dt} = u \tan \phi - 2\Omega \sin \phi v + \frac{c_p \theta}{\cos \phi} \frac{\partial \Pi}{\partial x} = -\left(\frac{uv}{r} + 2\Omega \cos \phi u\right) + S^x$$

$$\frac{D_x v}{Dt} + \frac{u^2 \tan \phi}{r} + 2\Omega \sin \phi u + \frac{c_p \theta}{\cos \phi} \frac{\partial \Pi}{\partial y} = -\left(\frac{vw}{r}\right) + S^y$$

$$\frac{D_x w}{Dt} + c_p \theta \frac{\partial \Pi}{\partial z} + \frac{\partial \Pi}{\partial r} = \left(\frac{w^2}{r} + v^2\right) + 2\Omega \cos \phi w + S^z$$

mass continuity

$$\frac{D_x}{Dt} \left( \rho_0 r^2 \cos \phi \right) + \rho_0 r^2 \cos \phi \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{u}{r \cos \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{v}{r} \right) + \frac{\partial w}{\partial z} \right] = 0$$

thermodynamics

$$\frac{D_x \theta}{Dt} = S^\theta$$

$$\frac{\partial \vec{v}_g}{\partial \ln p} = -\frac{R}{f} \hat{z} \times \nabla_p T$$

- $U \sim 10 \text{ m s}^{-1}$  horizontal velocity scale
- $W \sim 1 \text{ cm s}^{-1}$  vertical velocity scale
- $L \sim 10^6 \text{ m}$  length scale [ $\sim 1/(2\pi)$  wavelength]
- $H \sim 10^4 \text{ m}$  depth scale
- $\delta p / \rho \sim 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  horizontal pressure fluctuation scale
- $L/U \sim 10^5 \text{ s}$  time scale

$$\hat{x} : -f\hat{v} \approx -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}, f = 2\Omega \sin \phi$$

$$\hat{y} : f\hat{u} \approx -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$$

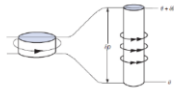
$$\vec{v}_g = \frac{1}{\rho f} \hat{z} \times \nabla p \quad \vec{v}_g = \frac{1}{f} \hat{z} \times \nabla_p \phi$$

$$\hat{z} : \frac{1}{g} RT \frac{\partial p}{\partial p} = \frac{1}{g} RT \partial(\ln p)$$

$$\vec{V}_T = \frac{1}{f} \hat{z} \times \nabla_p (\phi_2 - \phi_1) = \frac{g}{f} \hat{z} \times \nabla_p (Z_2 - Z_1) \approx \frac{g}{f} \hat{z} \times \nabla_p T_{1-2} \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

$$\eta = \nabla \times \vec{v} \cdot \hat{z} = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} + f = \zeta + f \quad \frac{d}{dt} (\zeta + f) \approx 0$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{f + \zeta}{H} \right) = 0$$



$$\hat{x} : \frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + 2\Omega v \sin \phi = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + f v = f(v - v_g) \quad R_g \equiv \frac{U}{fL}$$

$$\hat{y} : \frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - 2\Omega u \sin \phi = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - f u = -f(u - u_g)$$