

Convección y Microfísica de Nubes

Tema: Multicelulares

1º Cuatrimestre 2010

Paola Salio

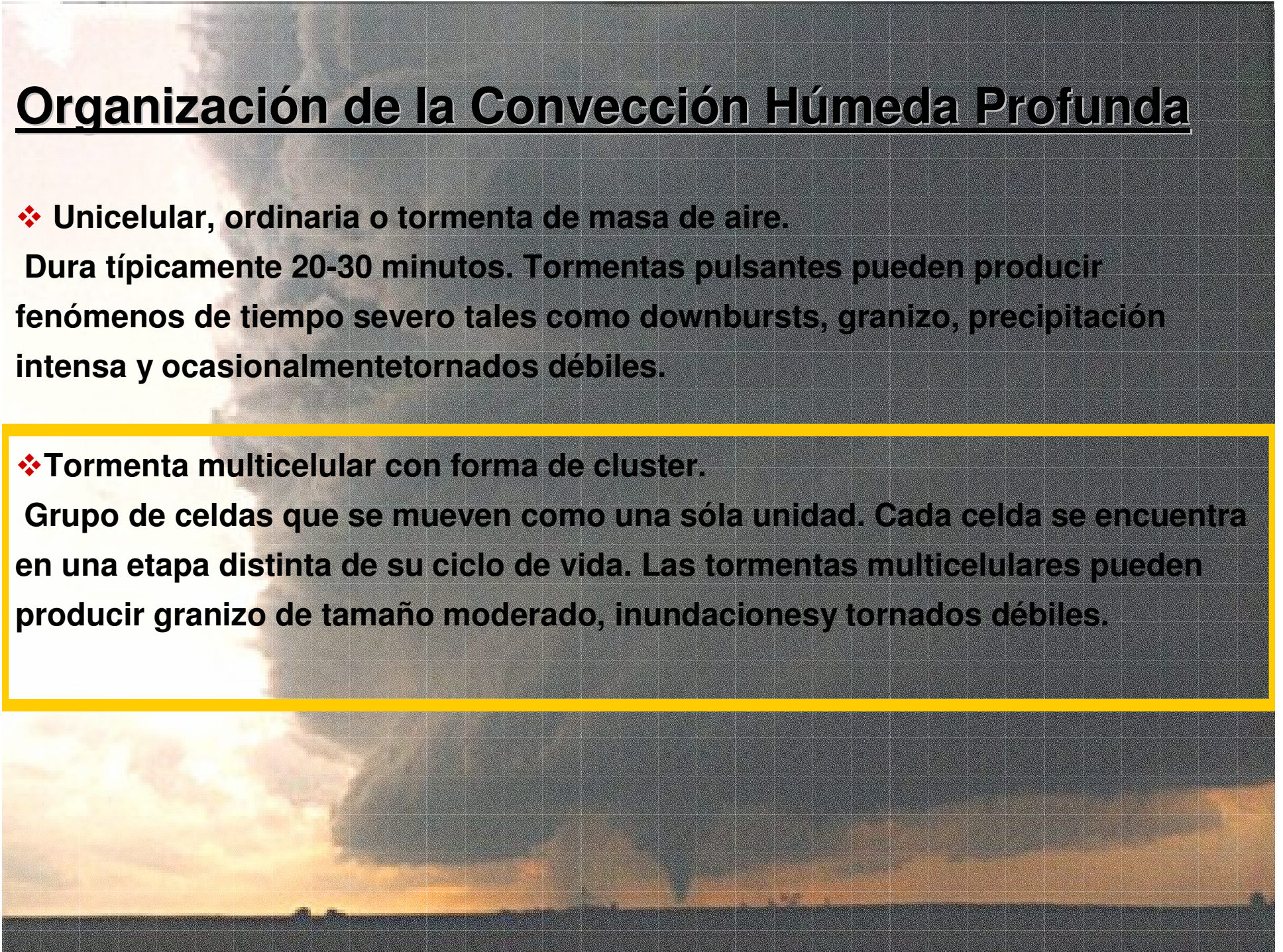
Organización de la Convección Húmeda Profunda

❖ Unicelular, ordinaria o tormenta de masa de aire.

Dura típicamente 20-30 minutos. Tormentas pulsantes pueden producir fenómenos de tiempo severo tales como downbursts, granizo, precipitación intensa y ocasionalmente tornados débiles.

❖ Tormenta multicelular con forma de cluster.

Grupo de celdas que se mueven como una sola unidad. Cada celda se encuentra en una etapa distinta de su ciclo de vida. Las tormentas multicelulares pueden producir granizo de tamaño moderado, inundaciones y tornados débiles.



Organización de la Convección Húmeda Profunda

❖ Tormentas multicelulares con forma de líneas

Consiste en una línea de tormentas con un frente de ráfagas continuo y bien desarrollado en la parte delantera de la línea. Pueden producir granizo de tamaño pequeño a moderado, inundaciones ocasionales y tornados débiles. También conocidas como líneas de inestabilidad (squall lines)

❖ Superceldas Se define como una tormenta convectiva con una ascendente rotante. En más del 90% pueden ser severas. Pueden producir fuertes downbursts, granizo grande, inundaciones ocasionales y tornados débiles a violentos.

❖ Sistemas convectivos de Mesoescala (MCS)

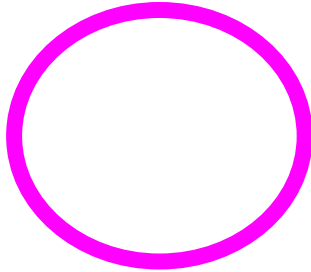
MCS Organizados en Líneas

MCS Organizados en Cluster (conglomerados)



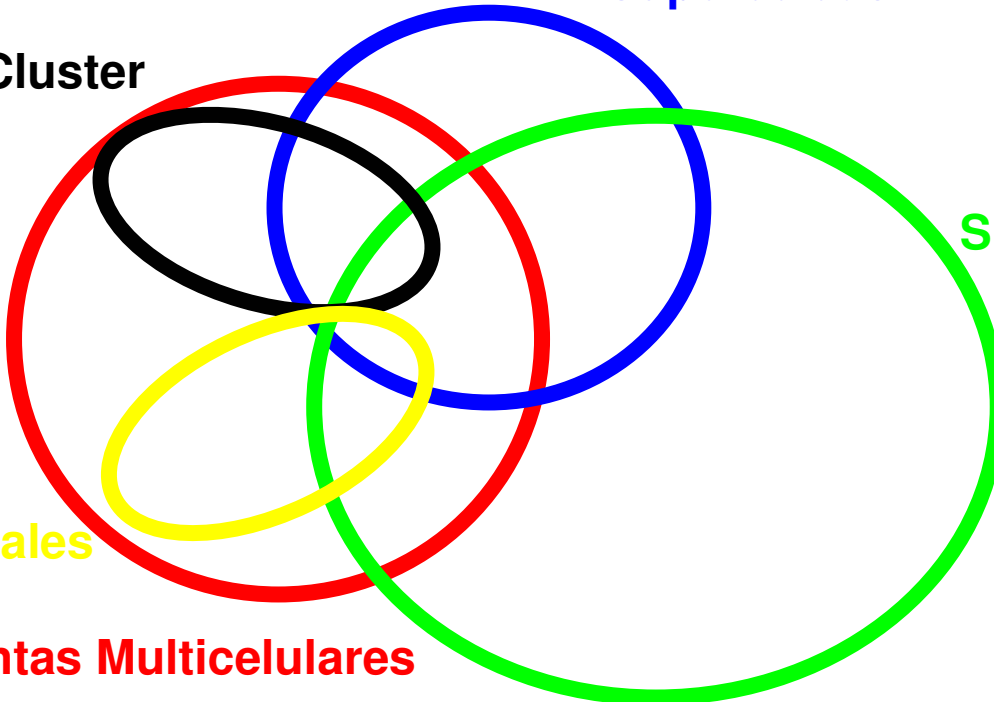
Tormentas Ordinarias

Esta separación es tan estricta?



Superceldas

Cluster



Sistemas Convectivos de Mesoescala

Lineales

Tormentas Multicelulares

Temas a desarrollar en esta clase

- ❖ **Definición y ejemplos de tormentas multicelulares**
- ❖ **Ciclo de vida de las tormentas multicelulares**
- ❖ **Líneas de Inestabilidad**
- ❖ **Frente de ráfagas**
- ❖ **Rol de la cortante y el frente de ráfagas en tormentas multicelulares**

Temas a desarrollar en esta clase

❖ **Definición y ejemplos de tormentas multicelulares**

❖ **Ciclo de vida de las tormentas multicelulares**

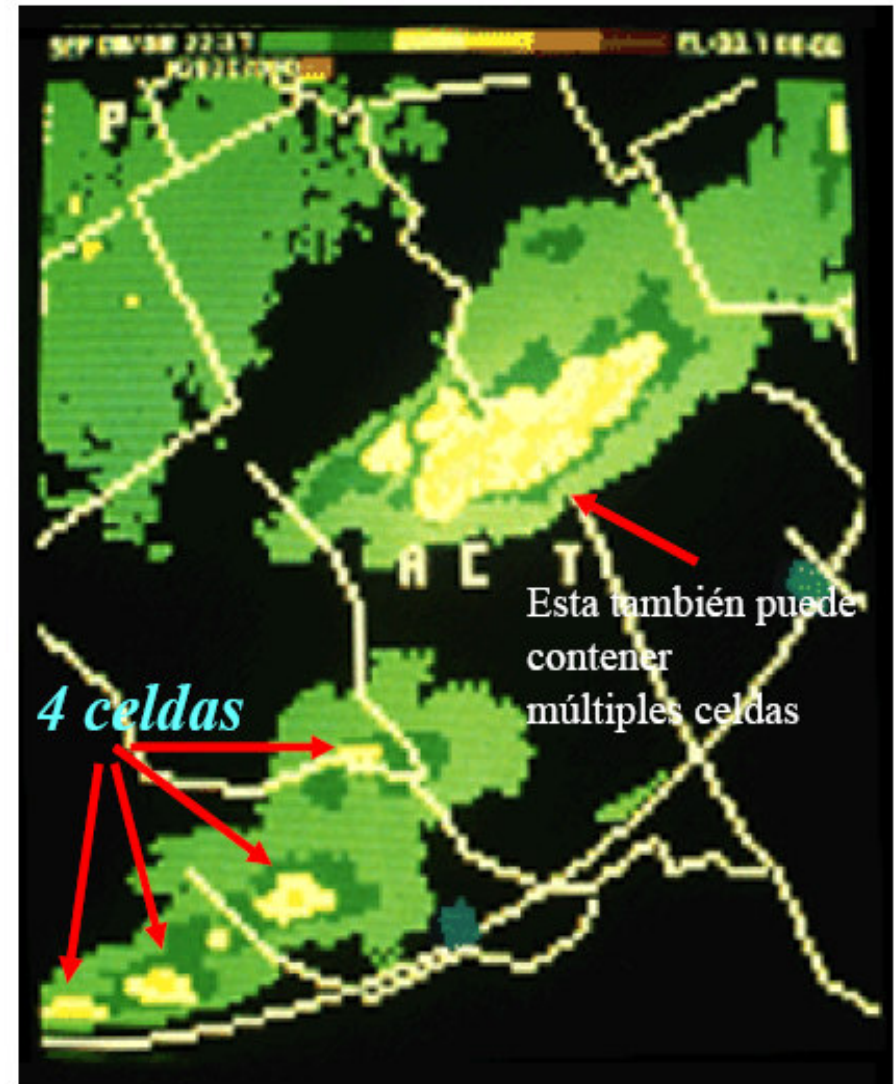
❖ **Líneas de Inestabilidad**

❖ **Frente de ráfagas**

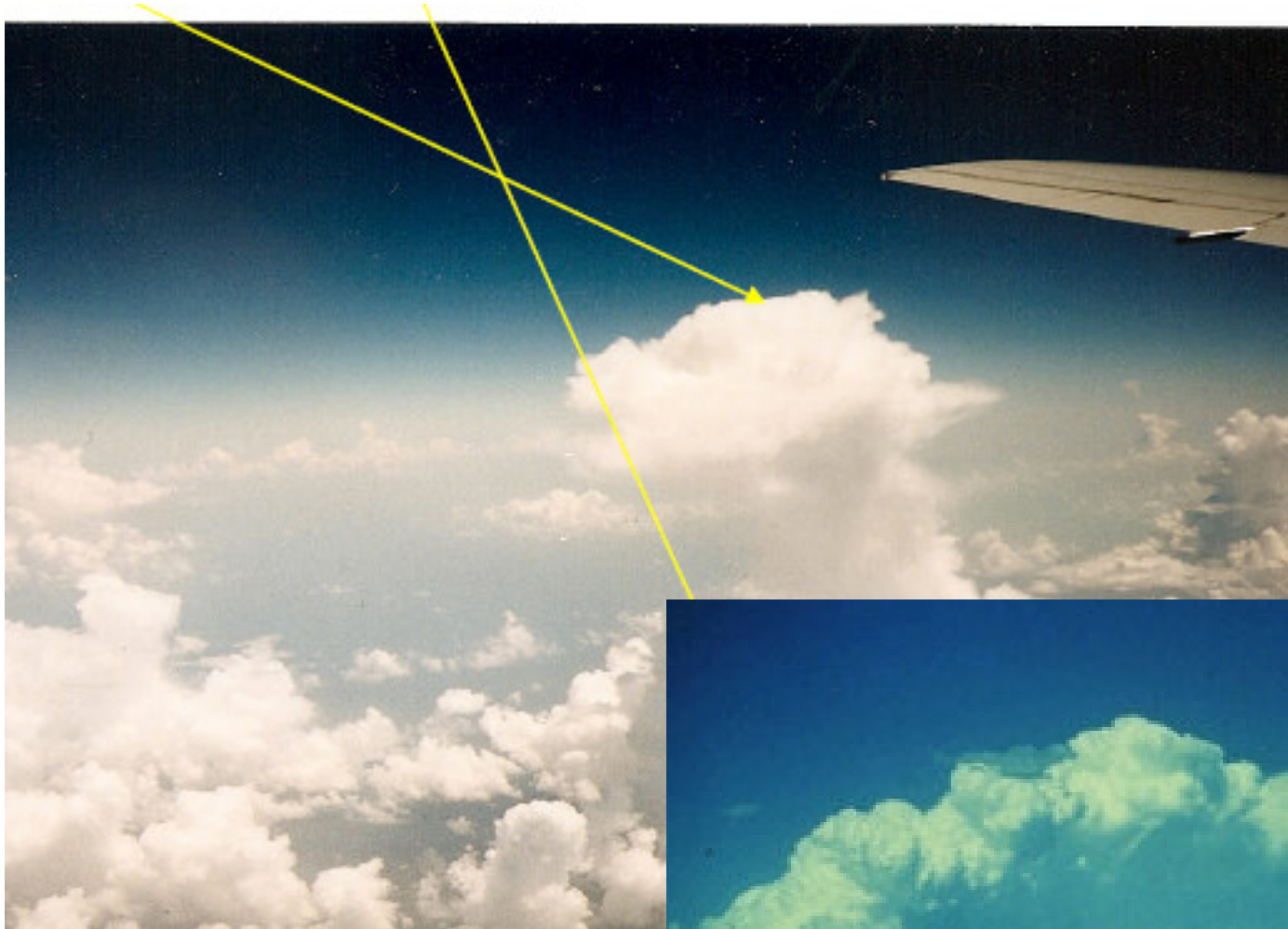
❖ **Rol de la cortante y el frente de ráfagas en tormentas multicelulares**

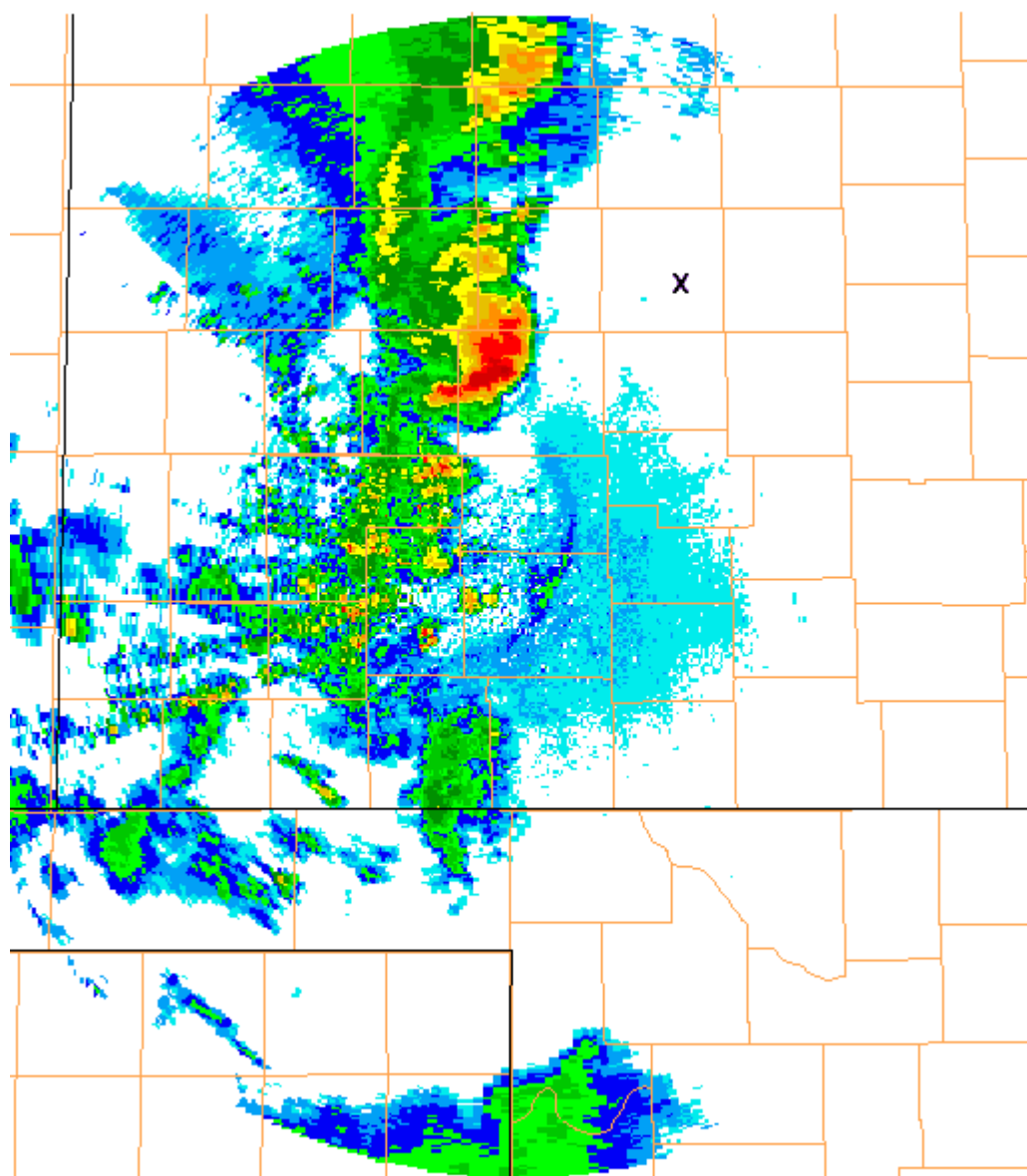
Cómo se observa desde el radar a las tormentas multicelulares

- ❖ El radar a menudo refleja la naturaleza multicelular de un grupo de tormentas (núcleos amarillos en la parte inferior de esta figura dentro de una zona verde de menor reflectividad)
- ❖ Ocasionalmente, una tormenta multicelular puede aparecer como unicelular en un barrido PPI del radar con baja elevación de antena pero cuando en la secuencia de barrido la antena se eleva se visualizan distintos topos en su porción superior.

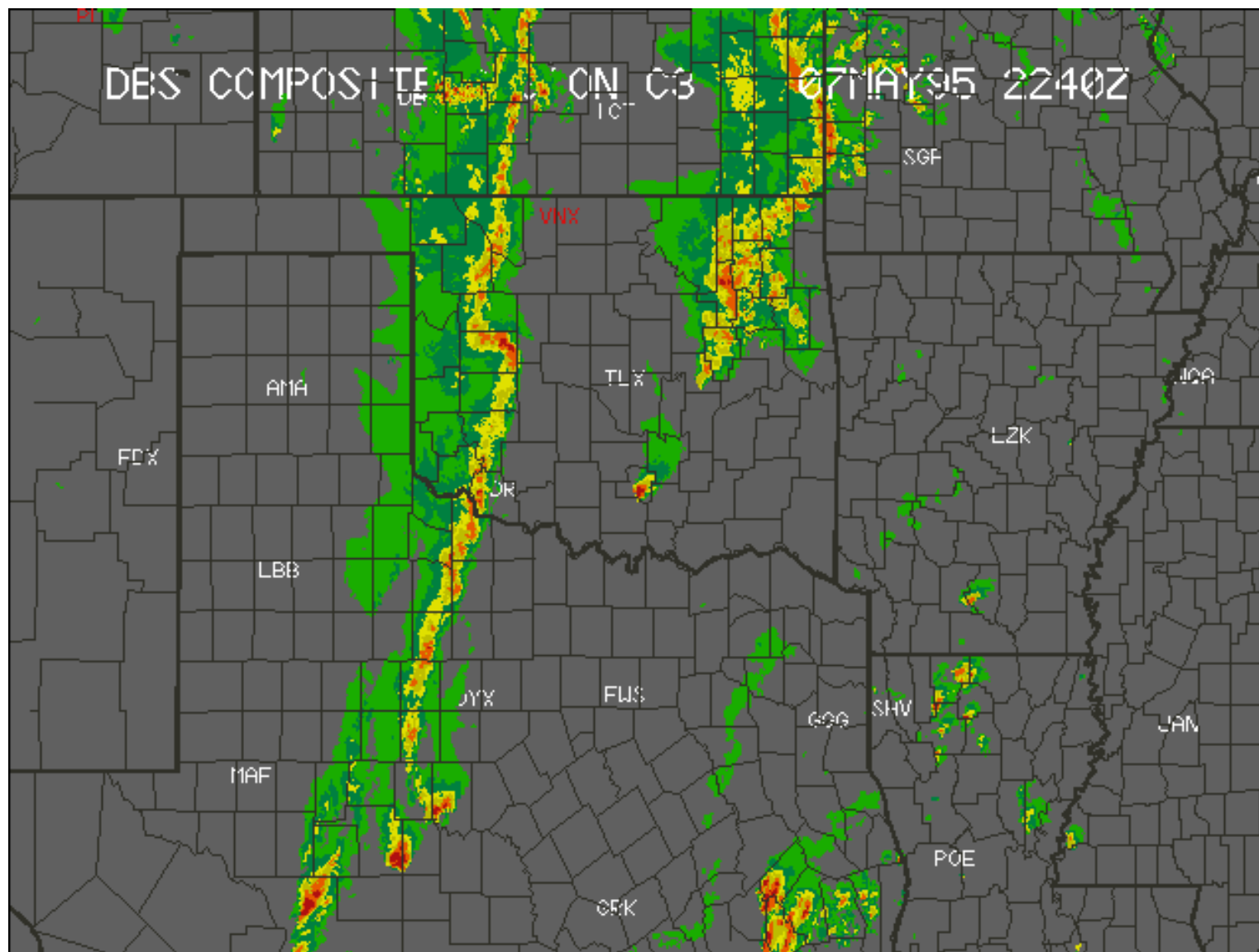


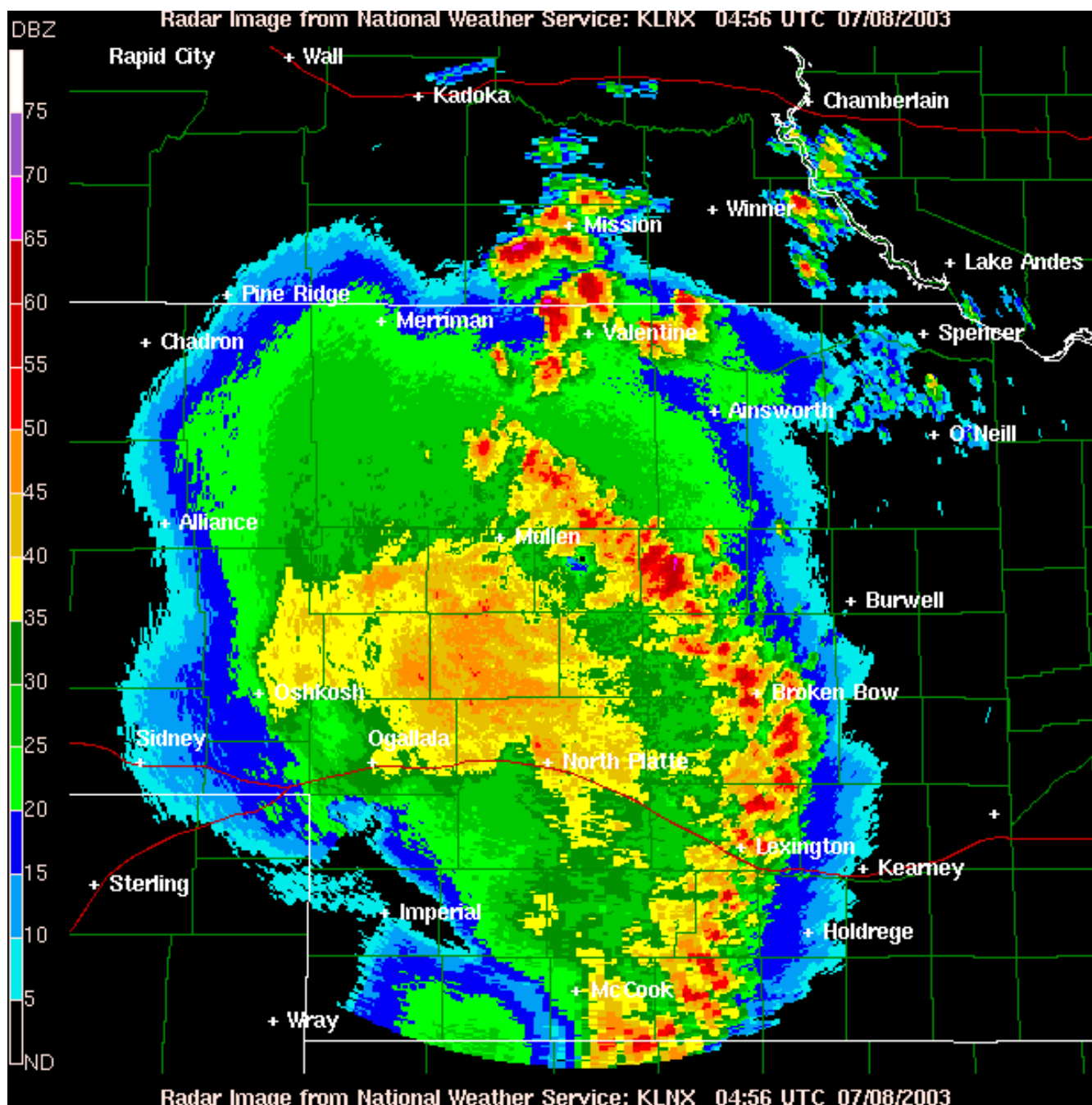
Ejemplos

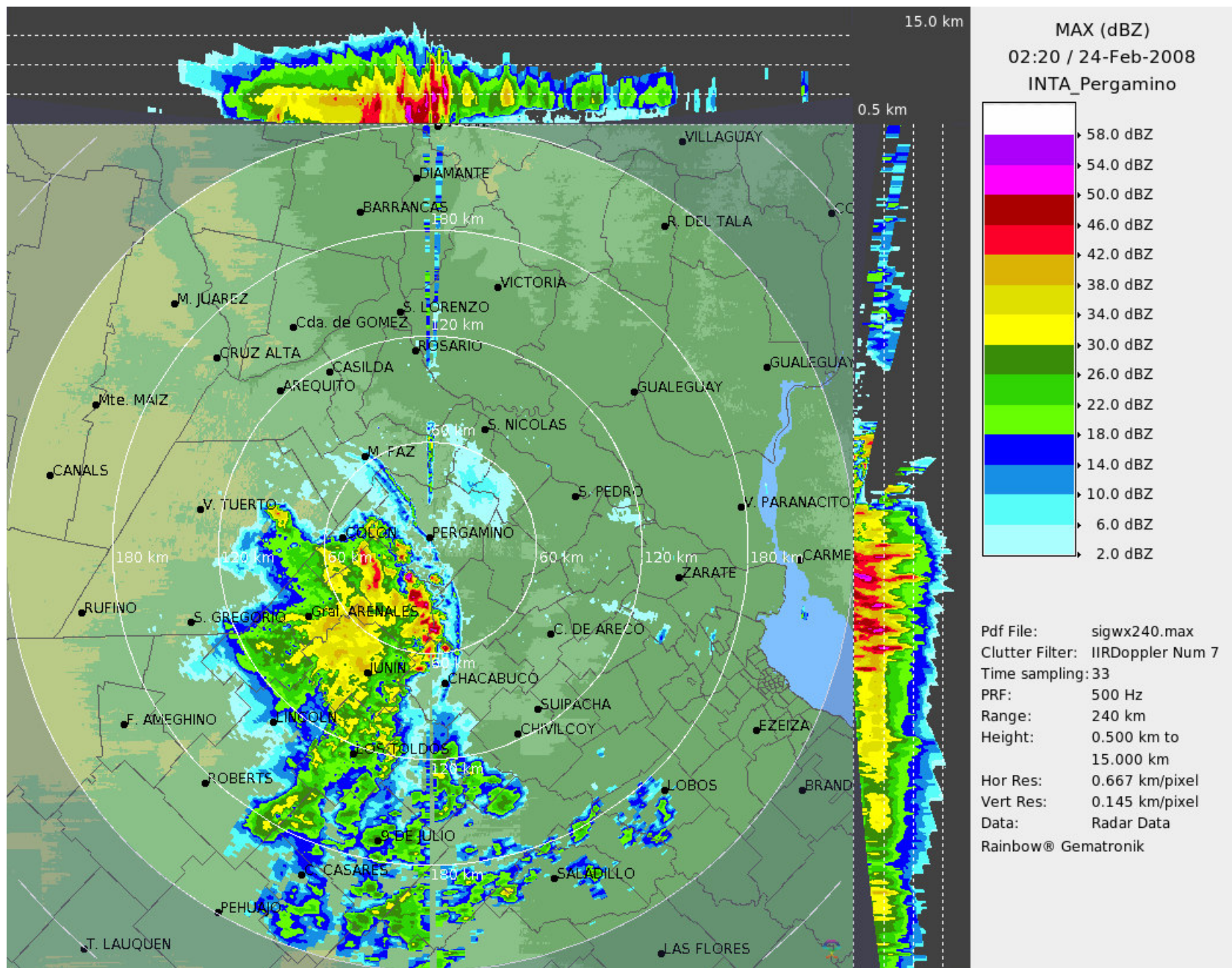


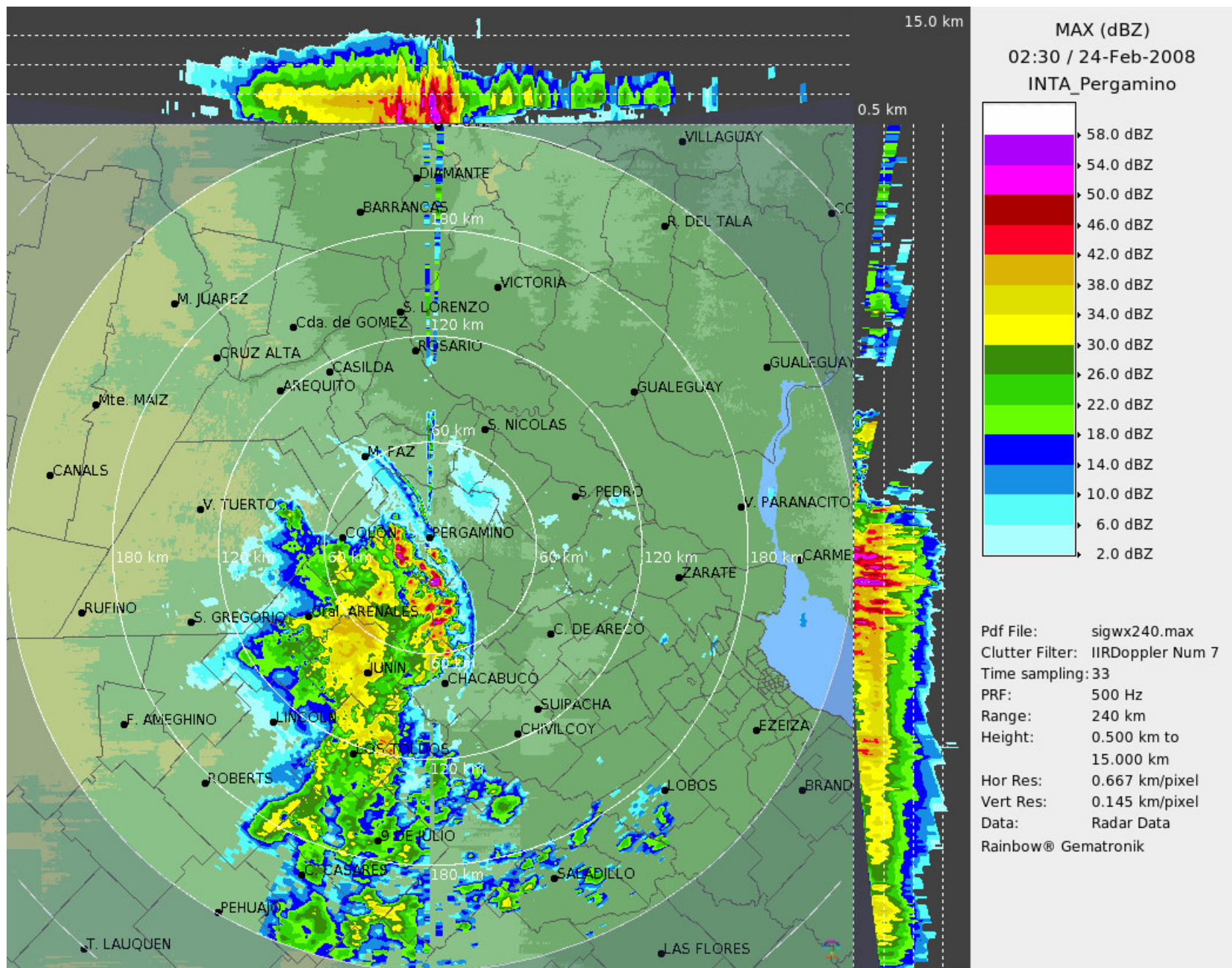


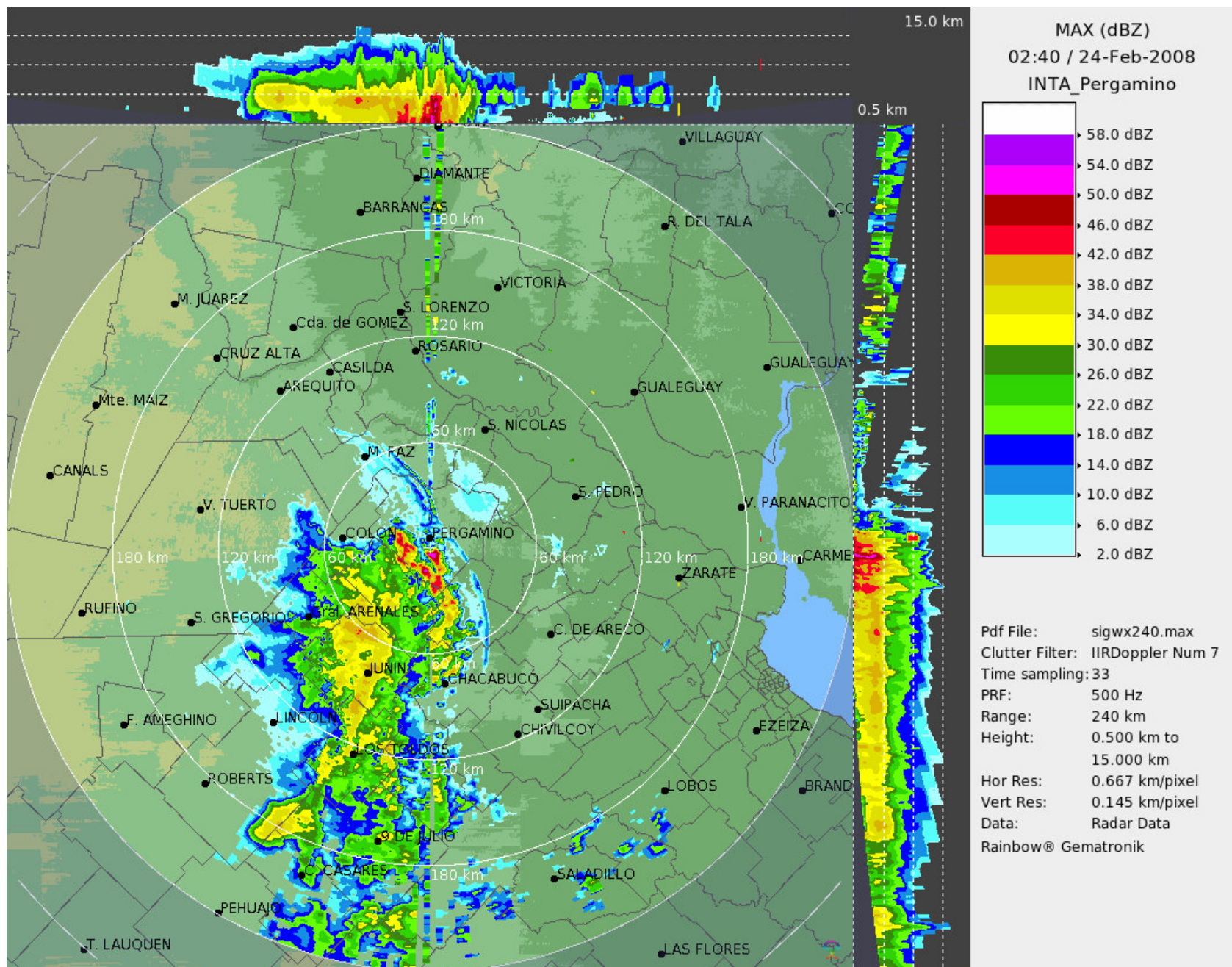
040605/0354 NIDS 1 KM BASE REFLECT 0.50 DEG

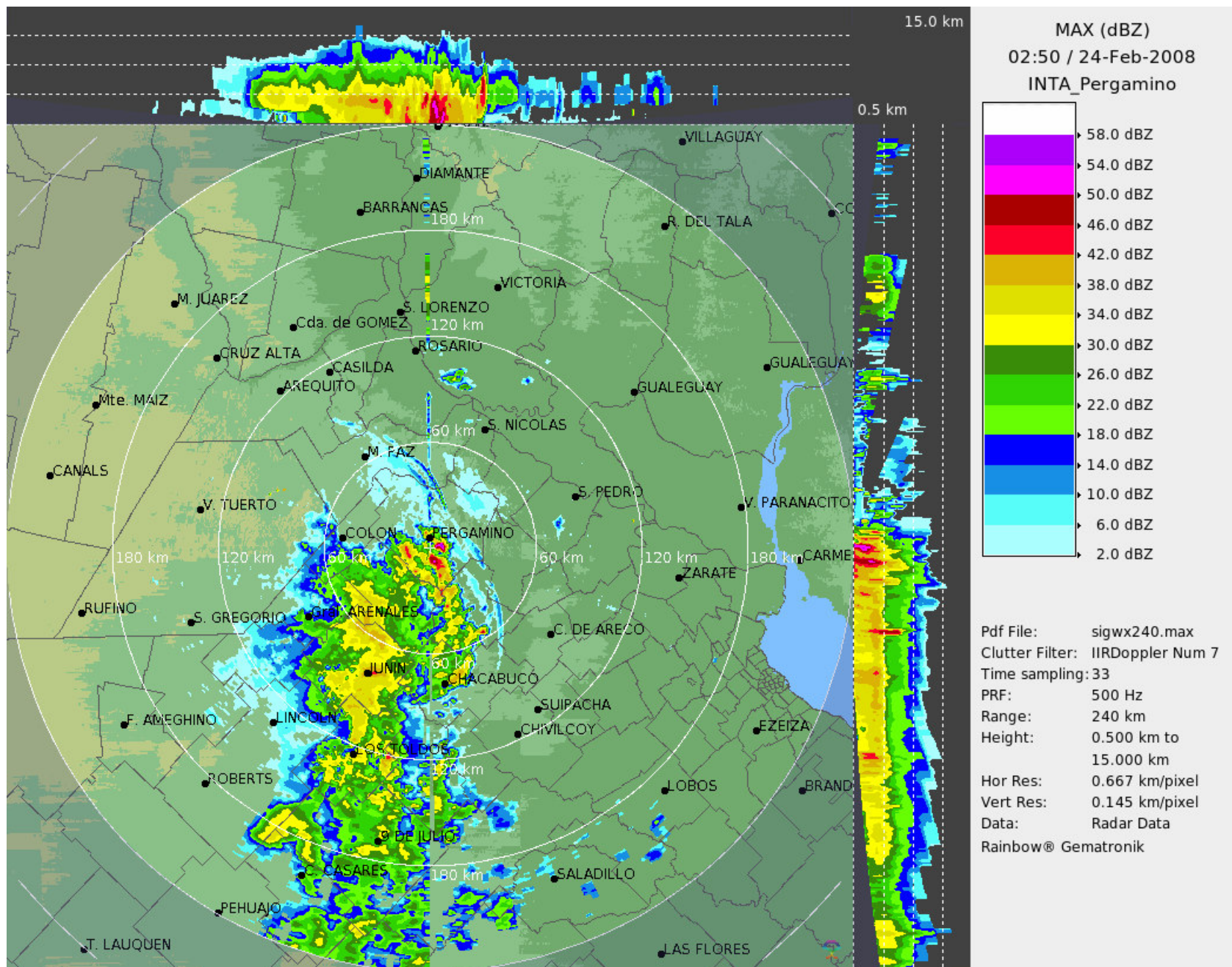


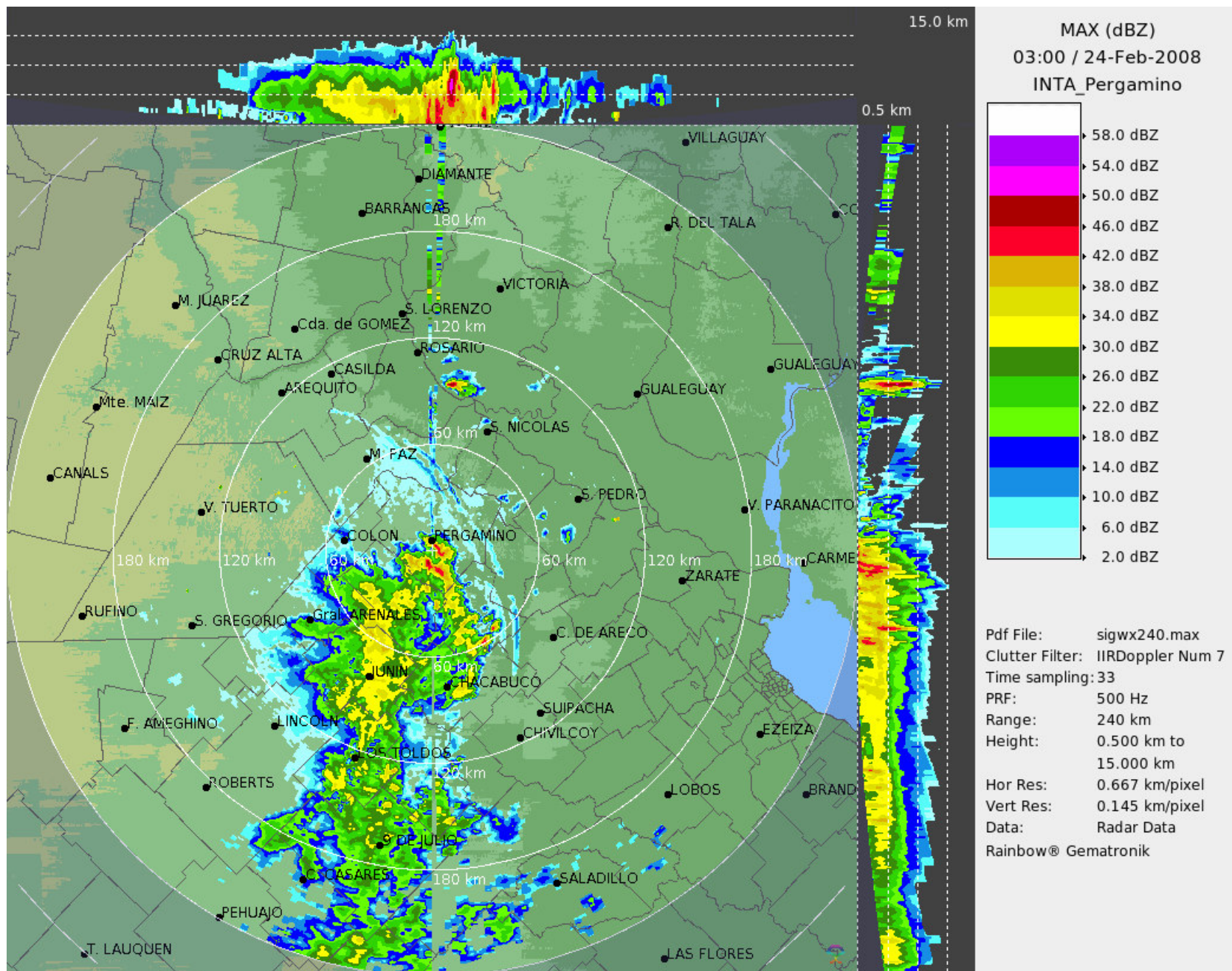


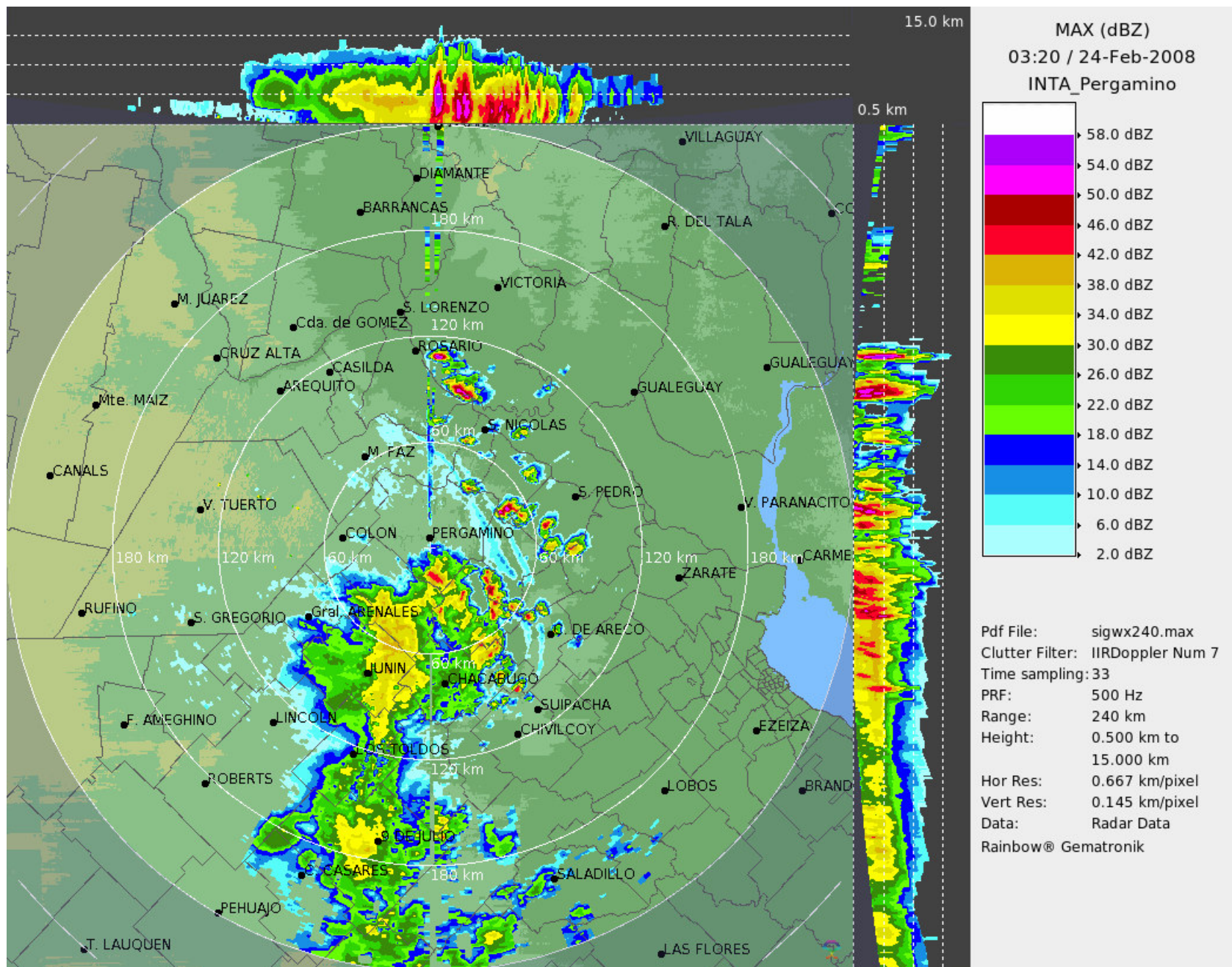


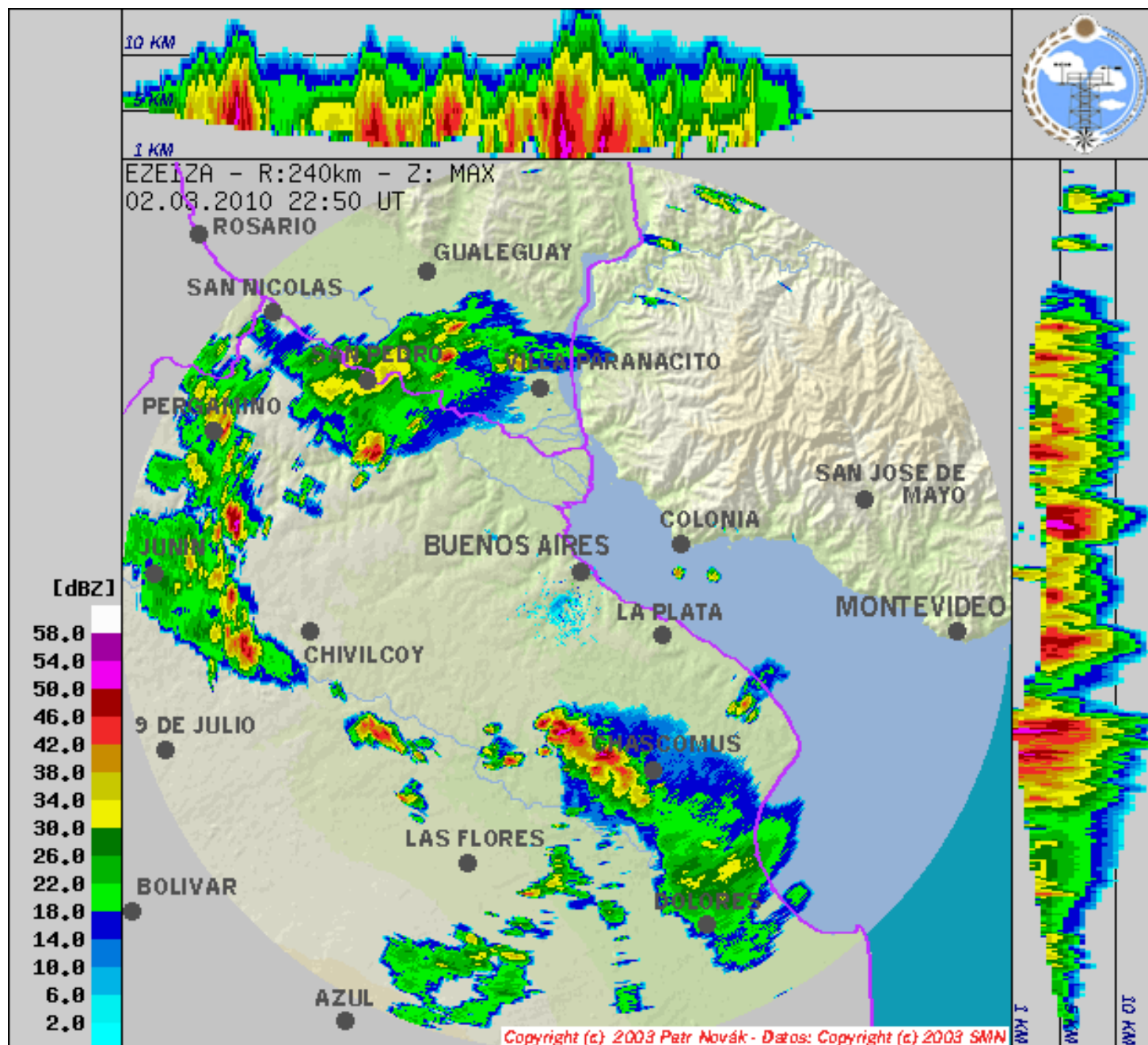


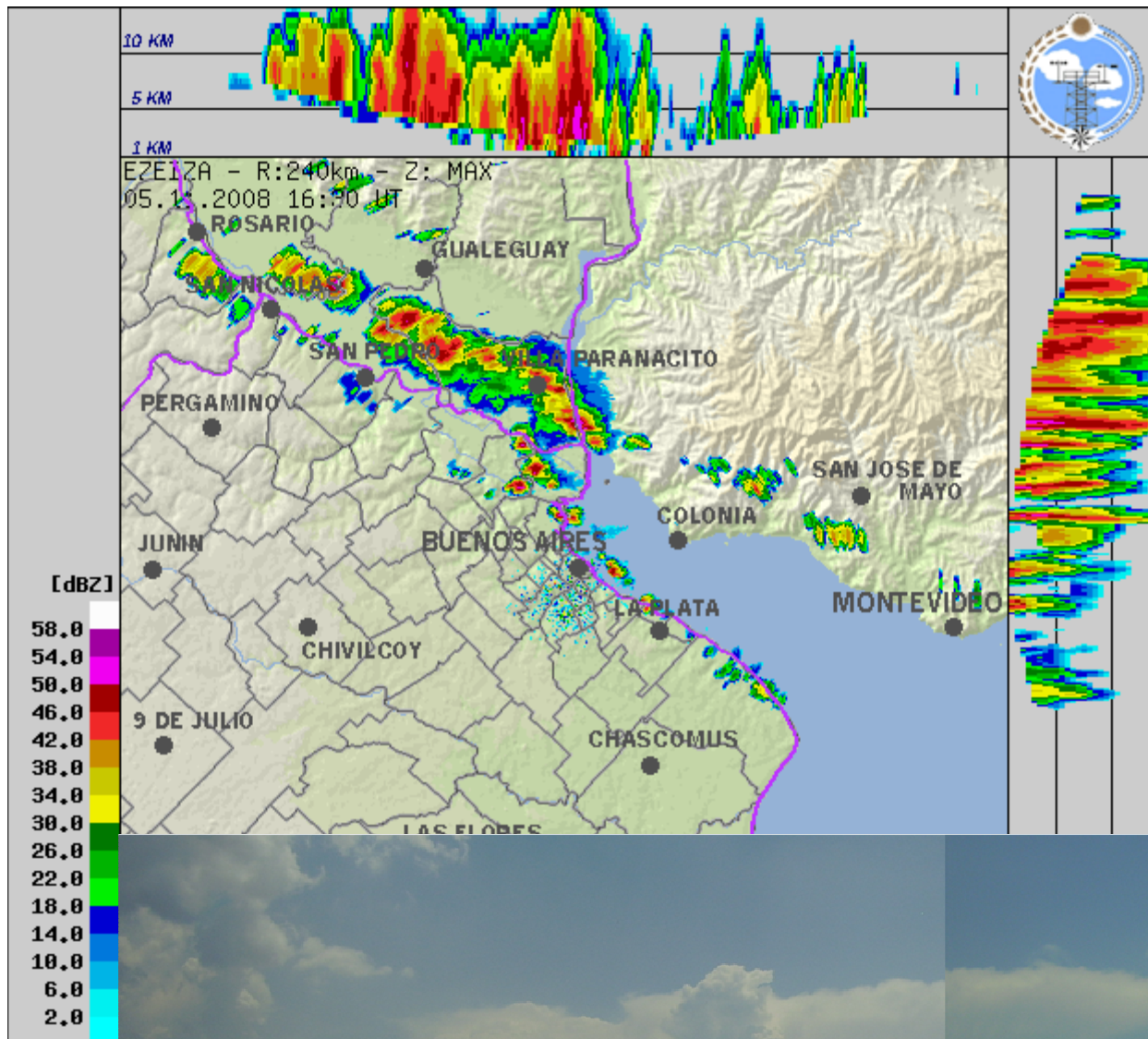












Temas a desarrollar en esta clase

- ❖ Definición y ejemplos de tormentas multicelulares
- ❖ **Ciclo de vida de las tormentas multicelulares**
- ❖ Líneas de Inestabilidad
- ❖ Frente de ráfagas
- ❖ Rol de la cortante y el frente de ráfagas en tormentas multicelulares

Ciclo de vida de tormentas multicelulares

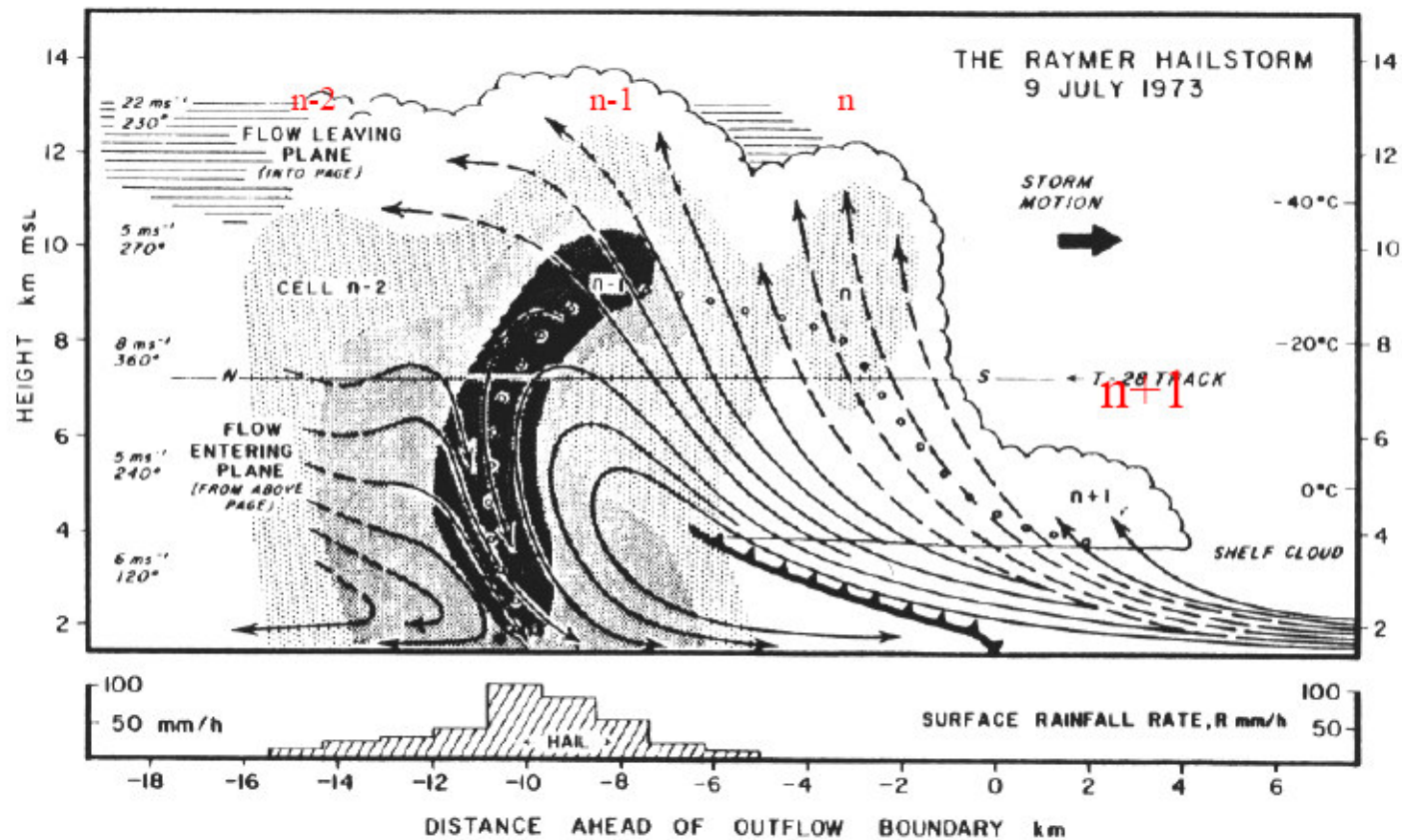


Figure 15.2. Vertical section of an ordinary multicell hailstorm, along the storm's direction of travel through a series of evolving cells ($n-2$, $n-1$, n , $n+1$). The solid lines are streamlines of flow relative to the moving system; on the left their broken ends represent flow into and out of the plane, and on the right they represent flow remaining within a plane a few kilometers closer to the reader. Light shading represents the extent of the cloud, and the three darker shades represent radar reflectivities of 35, 45, and 50 dBZ. (From Browning *et al.*, 1976.)

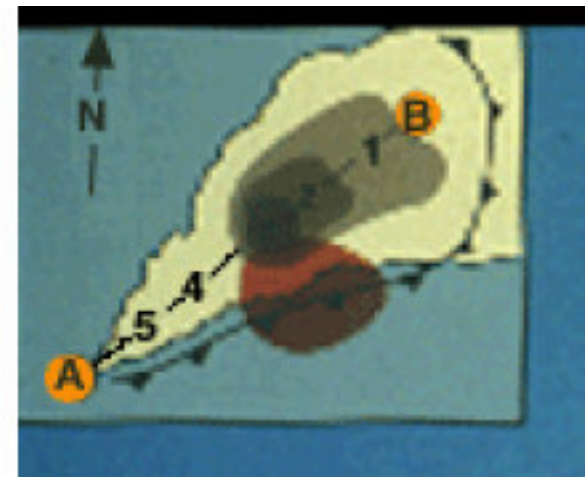
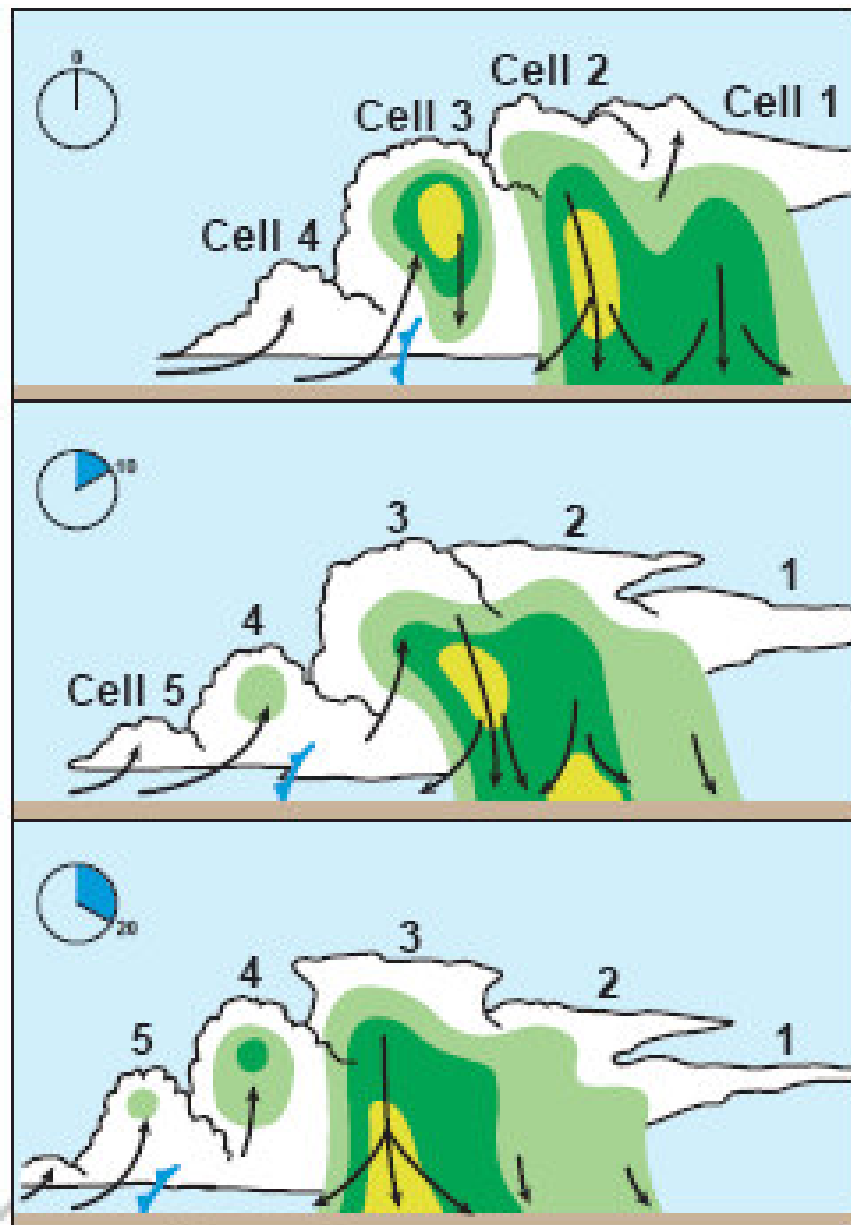


Figure 8.11. Schematic of the evolution of multicellular convection. Refer to the text for details.
[Adapted from Doswell (1985).]



Movimiento de celdas versus movimiento de tormentas

- Las celdas dentro de una tormenta (sistema) no necesariamente se mueven a la misma velocidad y/o dirección que las del sistema en su totalidad.
- El sistema tormenta puede moverse como el resultado del crecimiento y decaimiento sucesivo de celdas (componente de propagación).
- Puede también tener una componente de movimiento de cada celda.
- Los vientos del entorno pueden tener un efecto significativo en el movimiento de la celda y/o de la tormenta, pero las tormentas no necesariamente siguen a los vientos.

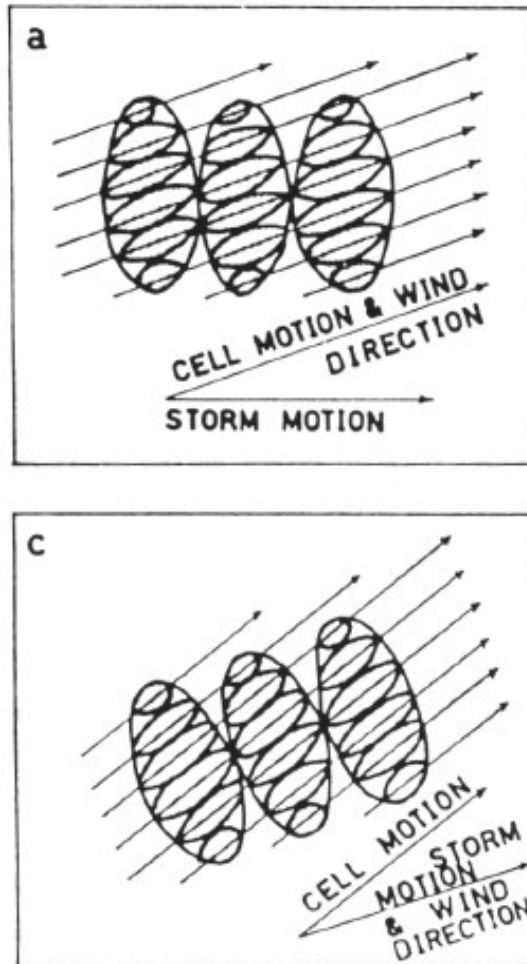
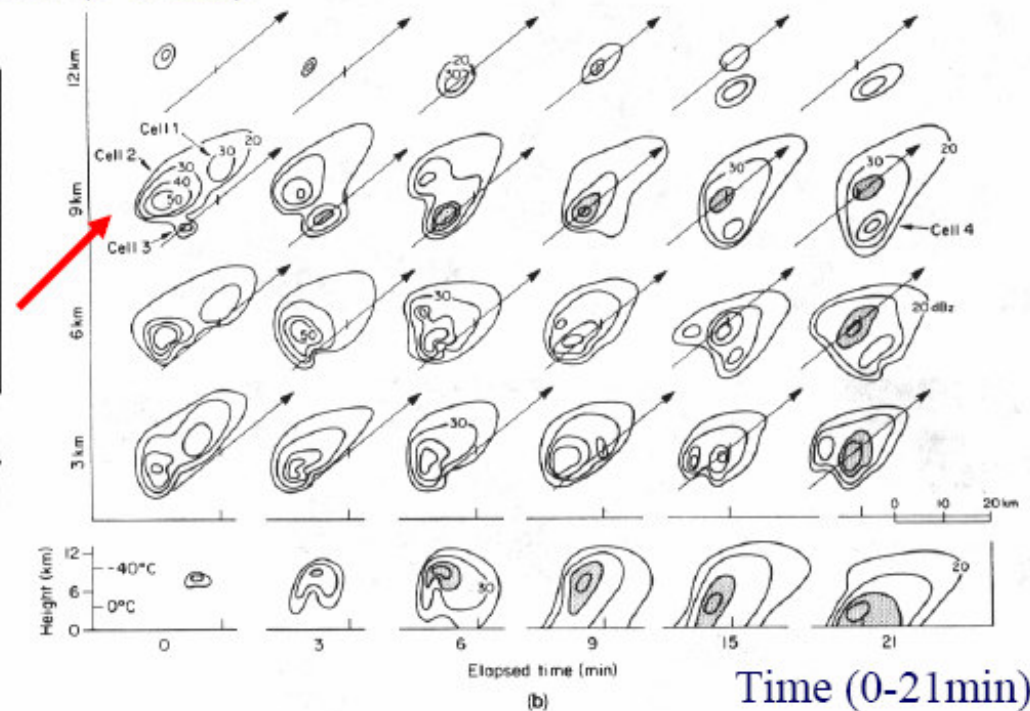
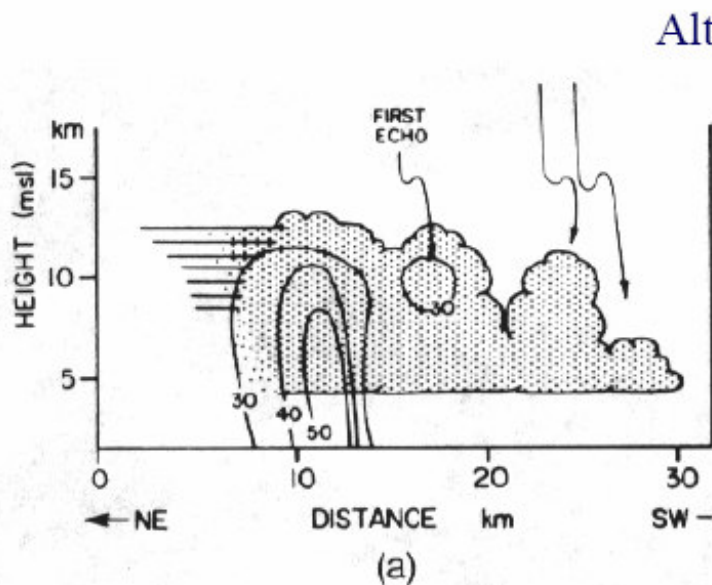


Figure 15.3. Schematic diagrams of the (a) Wokingham, (b) Alhambra, and (c) Rimbey storms, demonstrating the concept of cell motion as opposed to storm motion in an organized multicell storm system. (From Marwitz, 1972b.)



Crecimiento de una tormenta multicelular

Figure 3.17 Illustration of the growth of a multicell thunderstorm. (a) Vertical cross section from the northeast–southwest of a typical eastward-moving multicell hailstorm in South Dakota showing “daughter” clouds on the storm’s right flank. New cells form to the southwest, develop radar-detectable precipitation aloft, and then a deep radar echo; figure is in a sense a look at different stages in the life of a thunderstorm cell. Cloud (stippled area); radar reflectivity in dBZ (solid lines). (after Dennis *et al.*, 1970; from Browning, 1977). (b) Schematic horizontal (above) and vertical (below) radar reflectivity contours in dBZ (solid lines) for an ordinary multicell storm at various stages during its evolution. Cell motion (arrow); cell 3 is shaded to emphasize the history of an individual cell (from Chisholm and Renick, 1972; Browning, 1977). (Courtesy of the American Meteorological Society)

Temas a desarrollar en esta clase

❖ Definición y ejemplos de tormentas multicelulares

❖ Ciclo de vida de las tormentas multicelulares

❖ **Líneas de Inestabilidad**

❖ Frente de ráfagas

❖ Rol de la cortante y el frente de ráfagas en tormentas multicelulares

Línea de inestabilidad

Un tipo de tormenta multicelular que consiste en una línea de tormentas con un muy definido frente de ráfagas sobre el borde de la misma.

Las celdas internas son de variada intensidad

Squall Line is a type of multicell storm - consist of a line of storms with a continuous, well developed gust front at the leading edge of the line.

- These storms can produce small to moderate size hail, occasional flash floods and weak tornadoes.**
- Squall lines are bands of precipitation that are at least partly convective.**
- Frontal rainbands containing only forced precipitation are not considered squall lines**
- Squall lines can stretch hundreds or even thousands of kilometers in length and last for many hours. They therefore fall into the category of mesoscale convective system.**

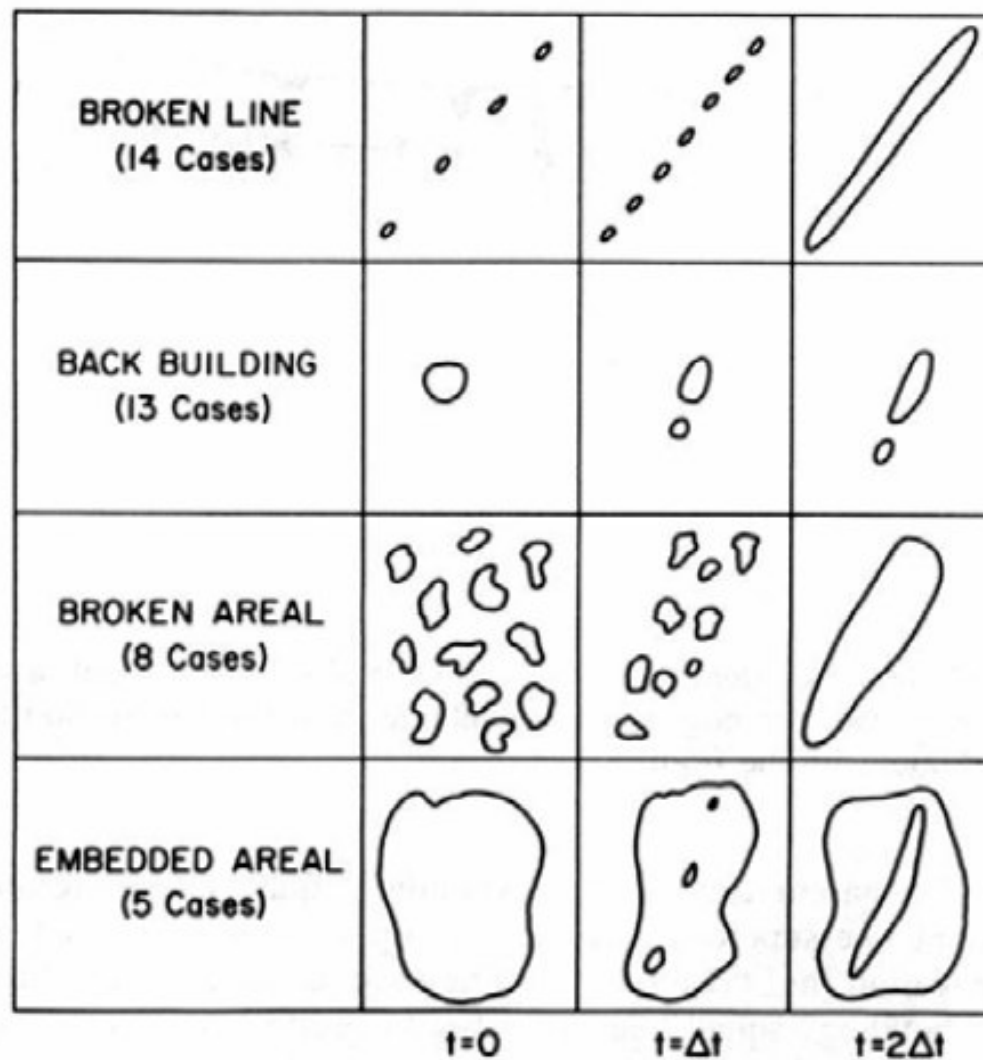
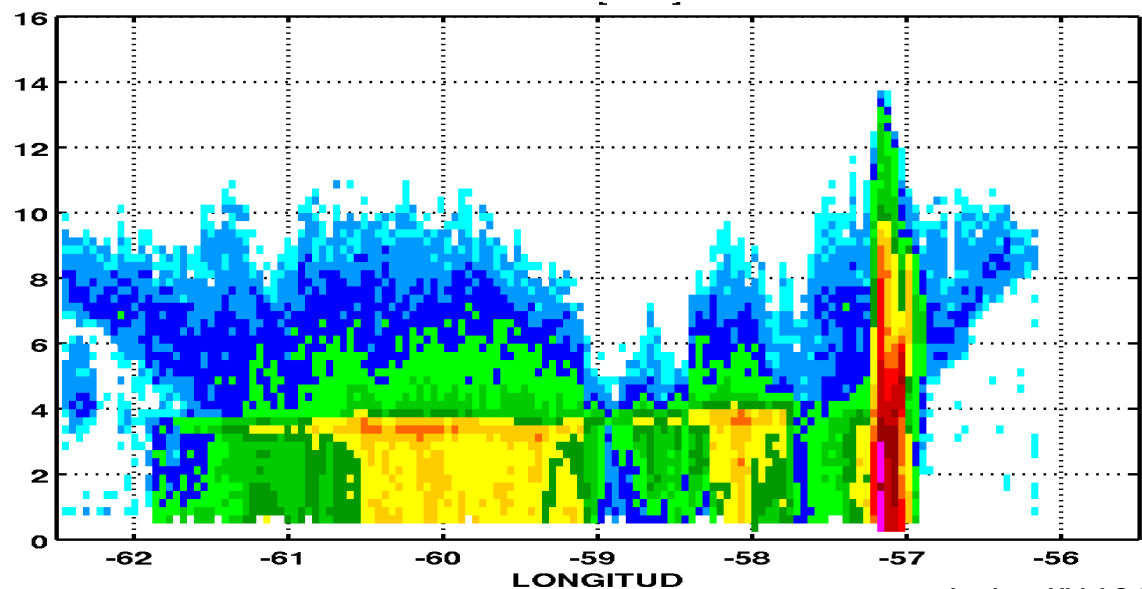
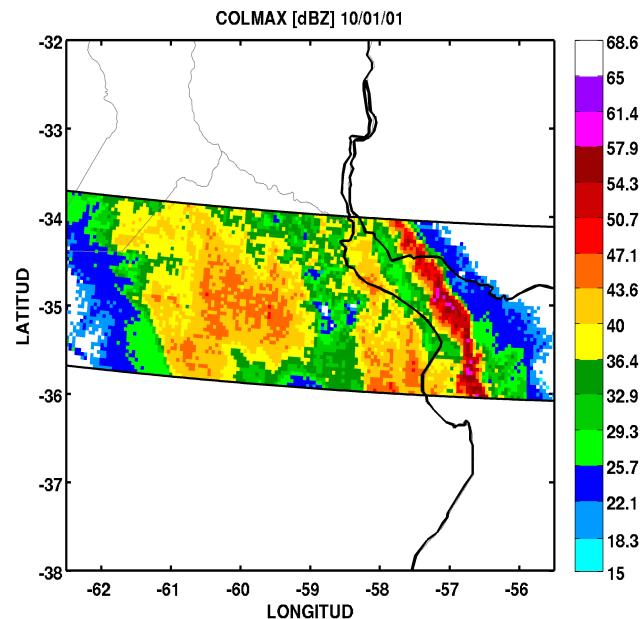
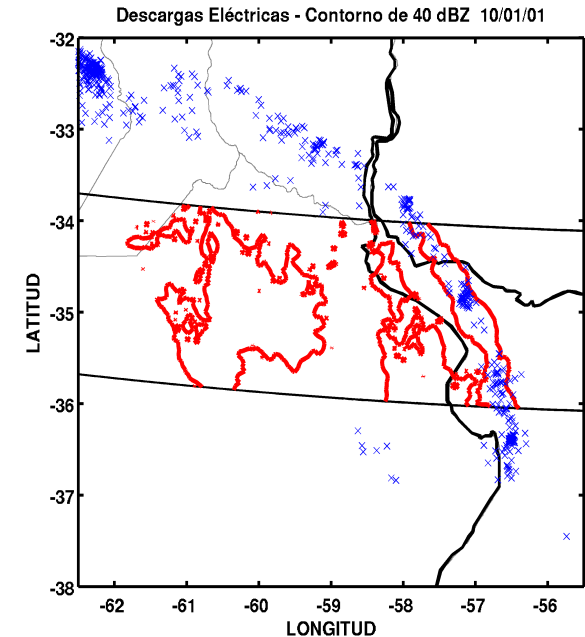
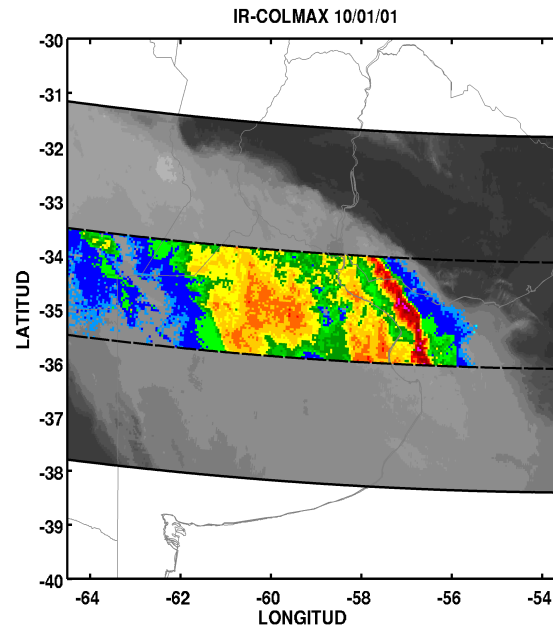


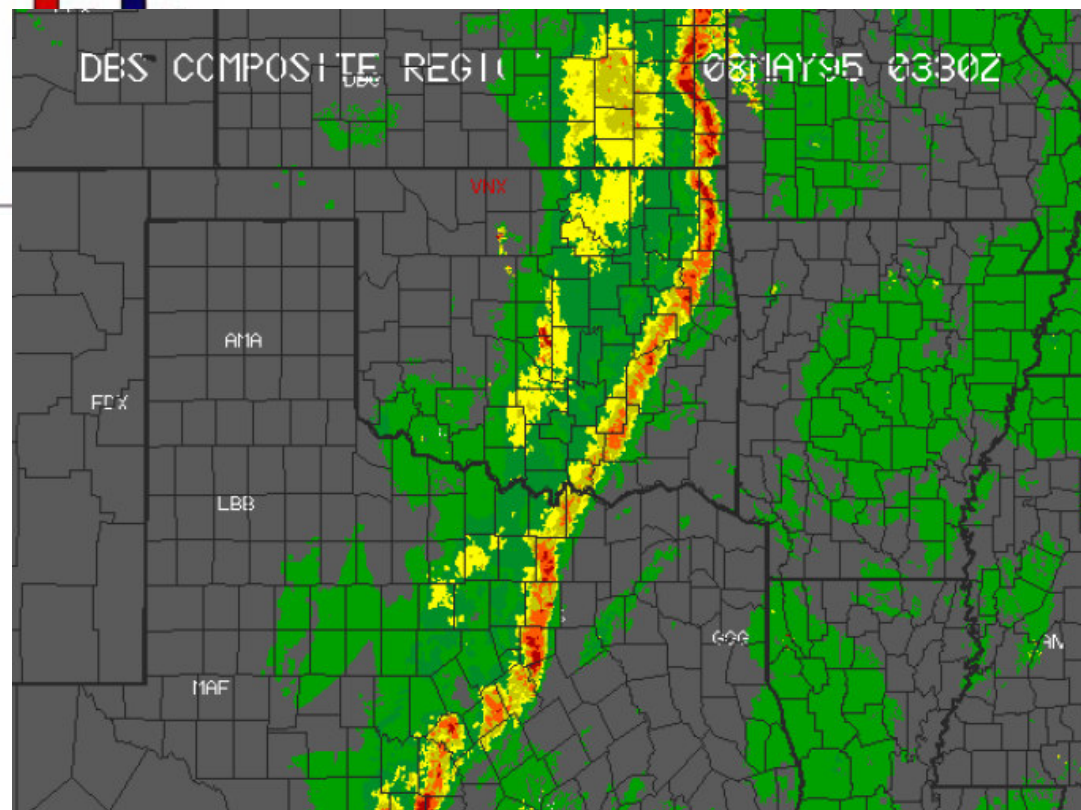
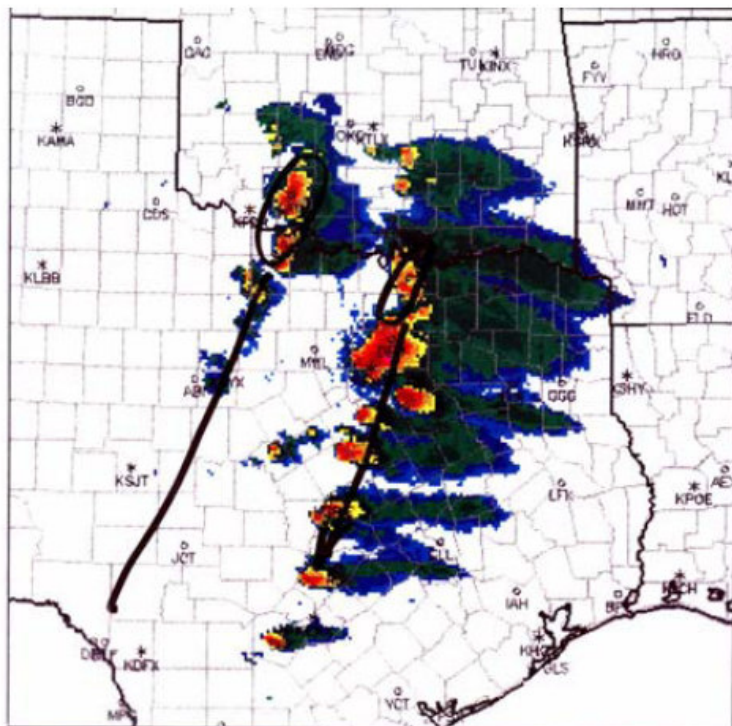
Figure 3.72 Idealized depiction of squall-line formation in the Southern Plains of the United States during the spring (from Bluestein and Jain, 1985). (Courtesy of the American Meteorological Society)

Línea de Inestabilidad – 10.01.2001 05:25 UTC

Satélite TRMM

Siete personas murieron, 200 resultaron heridas, más de 2000 fueron evacuadas y más de un millón se quedaron sin energía a raíz de la violenta tormenta que se desató en la medianoche del 10 de enero de 2001 en la Ciudad de Buenos Aires, en el conurbano y en varias zonas del interior del país. La localidad bonaerense de Guernica fue una de las más afectadas por las ráfagas de viento de más de 120 km/h, que dejaron un panorama desolador, con viviendas destrozadas, árboles caídos y partidos al medio, voladuras de techos y más de cien mil usuarios sin luz ni teléfono.





Composite Sound and Hodograph of Squall Line Cases Studied by Bluestein and Jain (1985)

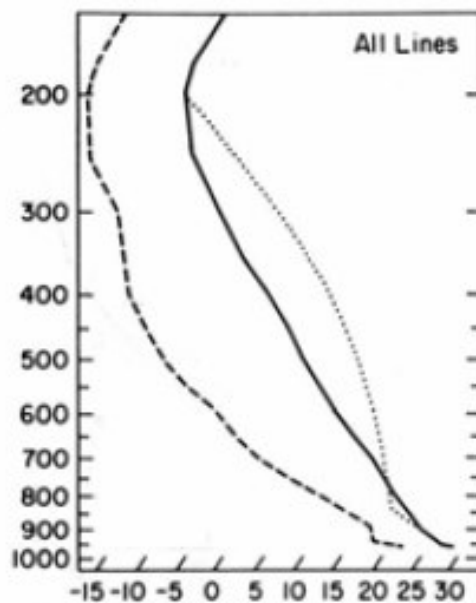


Figure 3.74 Composite sounding for severe squall lines in the Southern Plains of the United States during the spring. Skewed abscissa and logarithmic ordinate are the temperature ($^{\circ}\text{C}$) and pressure (mb), respectively. Temperature and dew-point profiles plotted as solid lines and dashed lines, respectively. Path taken in temperature–pressure space by surface air parcel as it ascends (dotted line) (from Bluestein and Jain, 1985). (Courtesy of the American Meteorological Society)

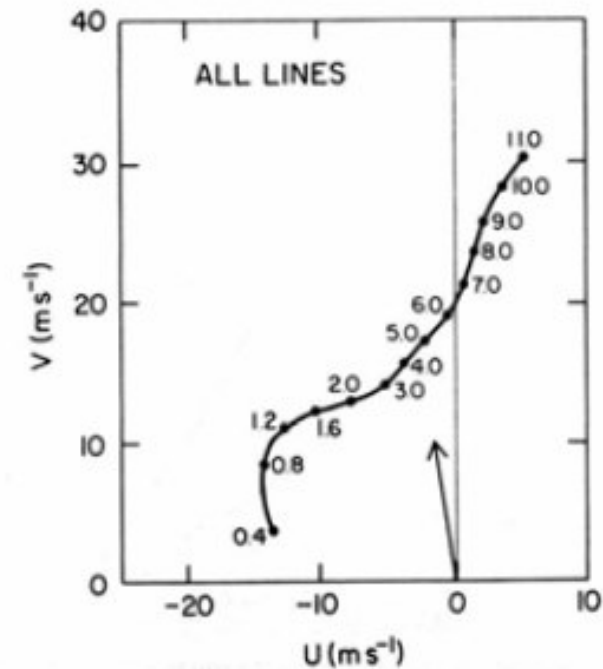


Figure 3.75 Composite hodograph, in a coordinate system moving along with the line, for severe squall lines in the Southern Plains of the United States during the spring. The cell motion is indicated by the vector (from Bluestein and Jain, 1985). (Courtesy of the American Meteorological Society)

Cross-section through a squall line of 21 May 1961 that passed OKC (after Newton 1966)

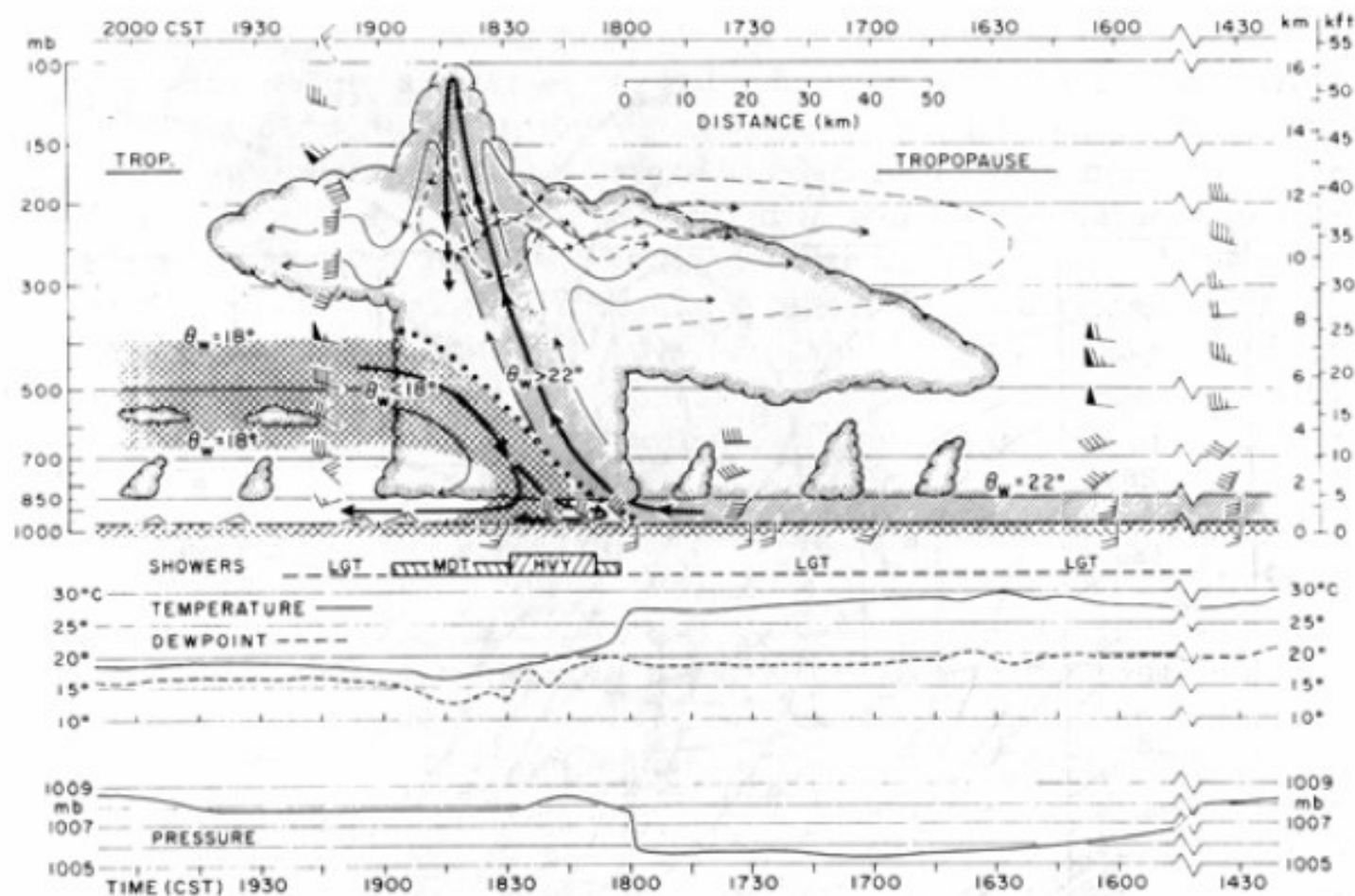
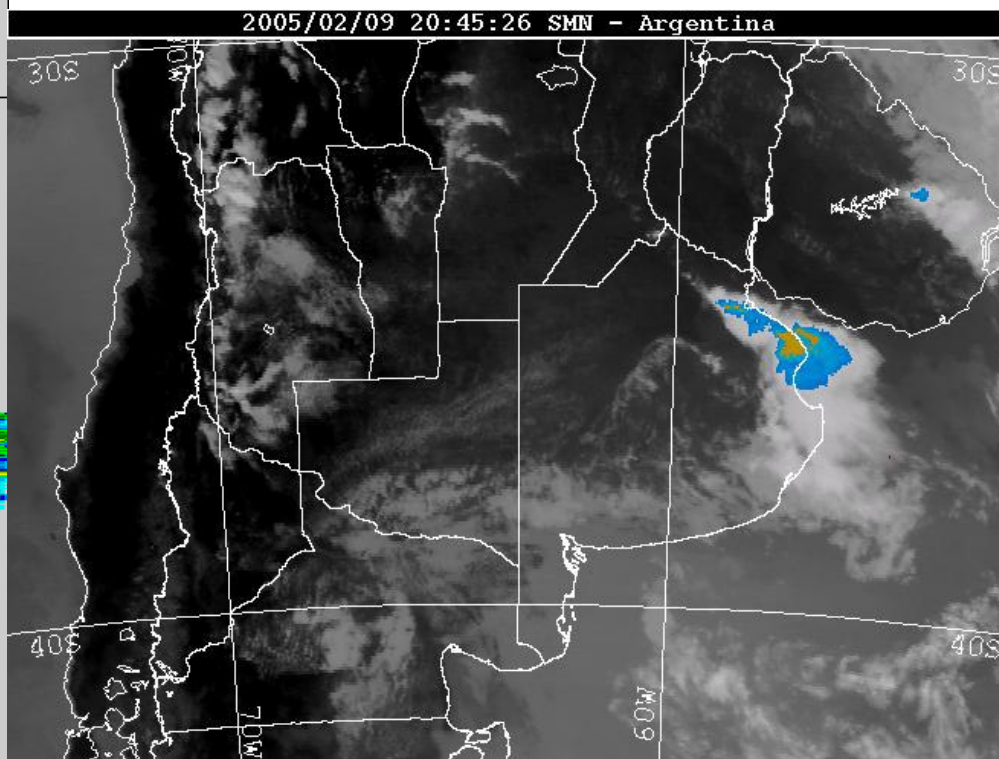
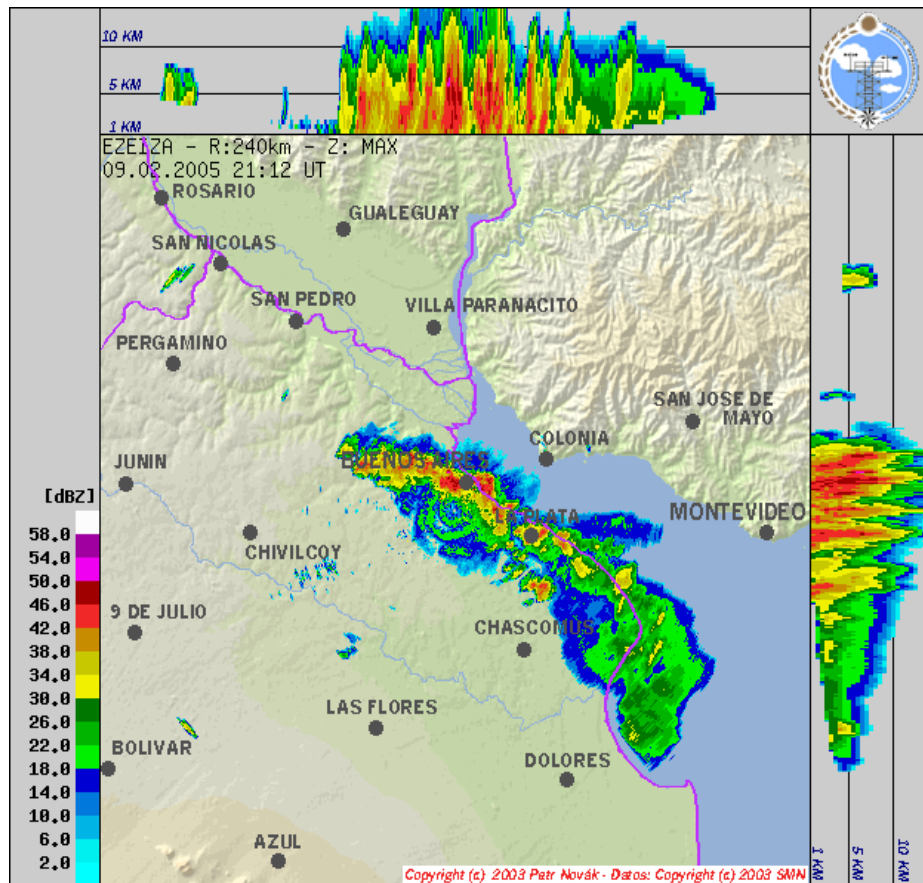
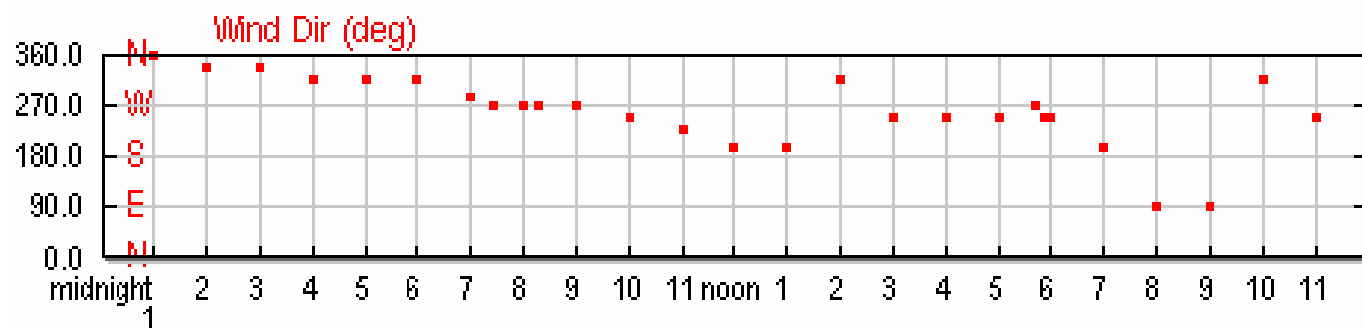
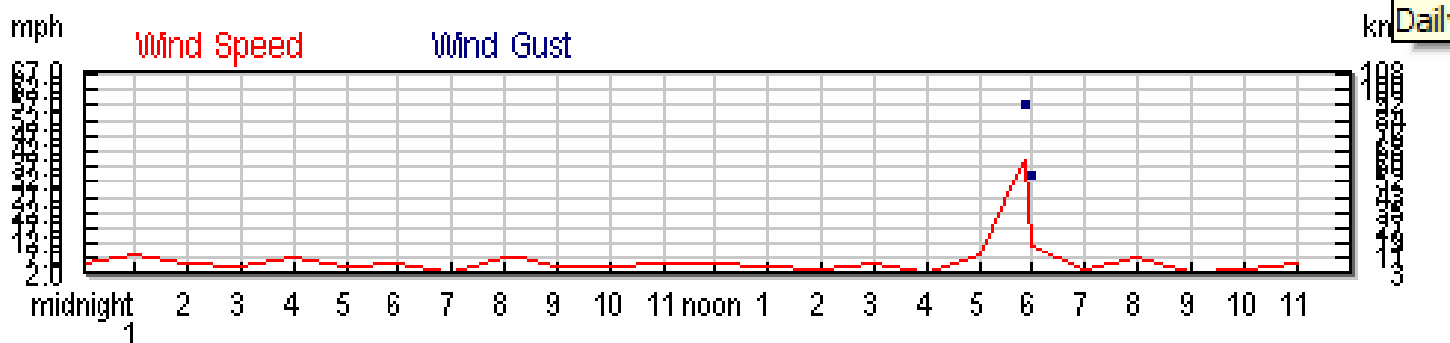
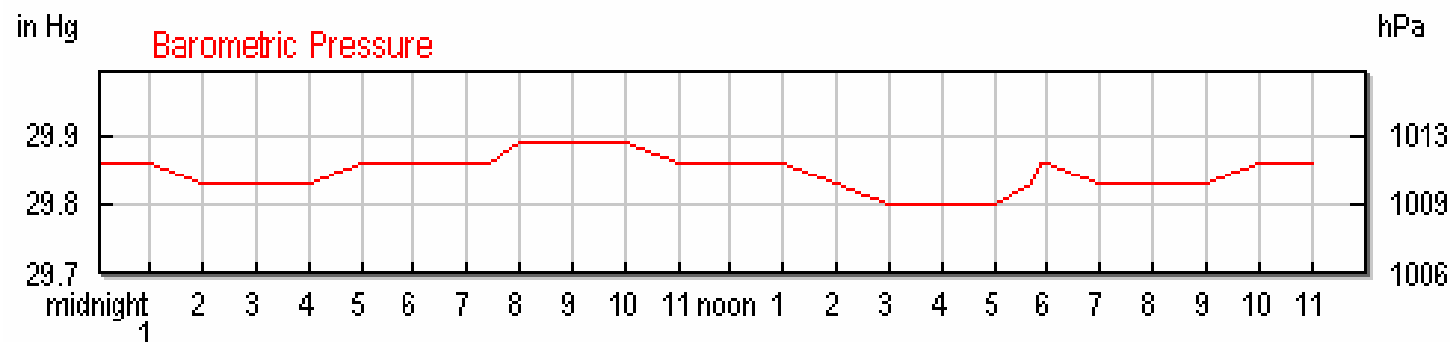
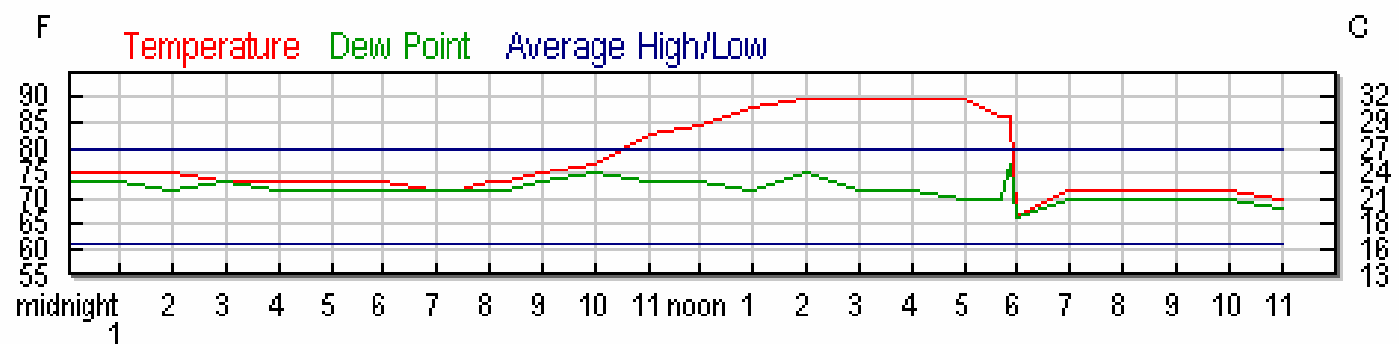
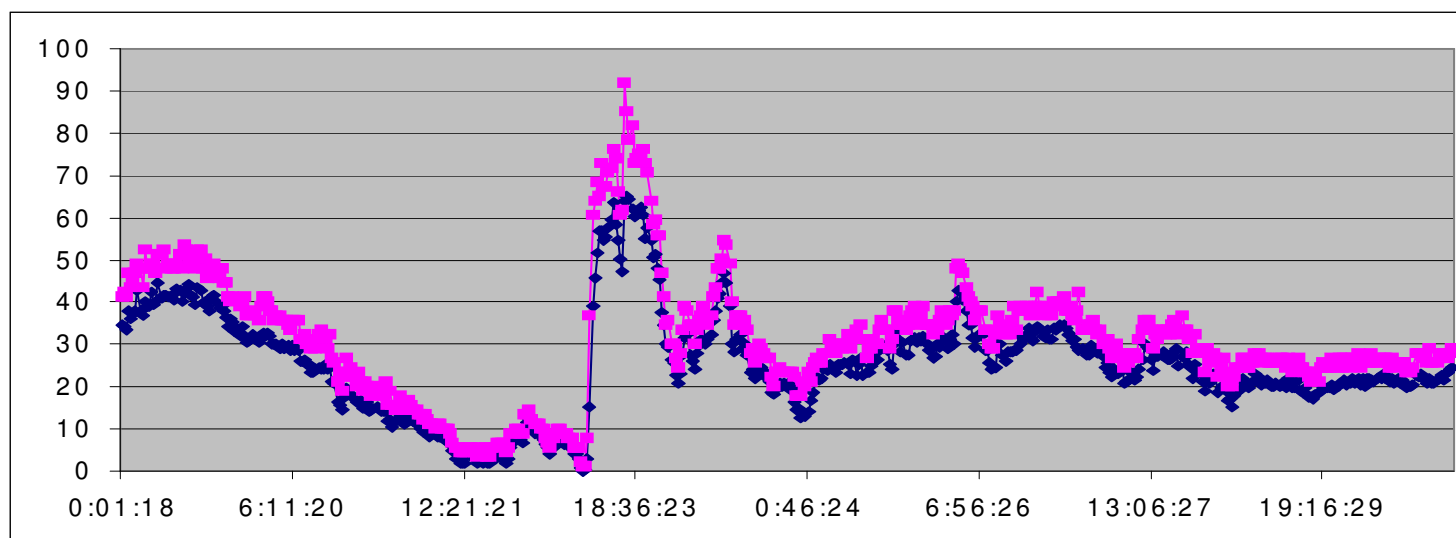


Figure 16.5b. Cross section through squall line of 21 May 1961 as it passed Oklahoma City. Hatching indicates probable extent of high θ_w air of low-level origin; cross-hatching indicates location of low θ_w air of probably middle-level origin. Heavy arrows are axes of main drafts; thin arrows are streamlines, dashed where air emanates from core of stratospheric tower. Long dashes suggest outline of air plume originating in storm; at lower altitude cloud plume consists of small precipitation particles. (After Newton, 1966.)





8:15 AM	23.0 °C	22.0 °C	94%	1012 HPA	5.0 Kilómetros	Oeste	11.1 km/h / 3.1 m/s	-	N/A	Nublado
9:00 AM	24 °C	23 °C	94%	1012 HPA	6 Kilómetros	Oeste	7.4 km/h /	-	-	Neblina
9:00 AM	24.0 °C	23.0 °C	94%	1012 HPA	6.0 Kilómetros	Oeste	7.4 km/h / 2.1 m/s	-	N/A	Nublado
10:00 AM	25.0 °C	24.0 °C	94%	1012 HPA	9.0 Kilómetros	OSO	7.4 km/h / 2.1 m/s	-	N/A	Mayormente Nublado
11:00 AM	28.0 °C	23.0 °C	74%	1011 HPA	10.0 Kilómetros	SO	9.3 km/h / 2.6 m/s	-	N/A	Mayormente Nublado
12:00 PM	29.0 °C	23.0 °C	70%	1011 HPA	10.0 Kilómetros	SSO	9.3 km/h / 2.6 m/s	-	N/A	Mayormente Nublado
1:00 PM	31.0 °C	22.0 °C	58%	1011 HPA	10.0 Kilómetros	SSO	7.4 km/h / 2.1 m/s	-	N/A	Mayormente Nublado
2:00 PM	32.0 °C	24.0 °C	62%	1010 HPA	10.0 Kilómetros	NO	5.6 km/h / 1.5 m/s	-	N/A	Nubes Dispersas
3:00 PM	32 °C	22 °C	44%	1010 HPA	15 Kilómetros	OSO	9.3 km/h /	-	-	Parcialmente Nublado
3:00 PM	32.0 °C	22.0 °C	55%	1009 HPA	10.0 Kilómetros	OSO	9.3 km/h / 2.6 m/s	-	N/A	Nubes Dispersas
4:00 PM	32.0 °C	22.0 °C	55%	1009 HPA	-	OSO	3.7 km/h / 1.0 m/s	-	N/A	Despejado
5:00 PM	32.0 °C	21.0 °C	52%	1009 HPA	-	OSO	13.0 km/h / 3.6 m/s	-	N/A	Despejado
5:40 PM	30.0 °C	21.0 °C	58%	1010 HPA	5.0 Kilómetros	Oeste	55.6 km/h / 15.4 m/s	81.5 km/h / 22.6 m/s	N/A	Chaparrones
5:50 PM	30.0 °C	25.0 °C	74%	1011 HPA	0.3 Kilómetros	OSO	63.0 km/h / 17.5 m/s	92.6 km/h / 25.7 m/s	N/A	Lluvia , Tormenta Tormenta
6:00 PM	19.0 °C	19.0 °C	100%	1011 HPA	5.0 Kilómetros	OSO	18.5 km/h / 5.1 m/s	55.6 km/h / 15.4 m/s	N/A	Lluvia , Tormenta Tormenta
7:00 PM	22.0 °C	21.0 °C	94%	1010 HPA	-	SSO	5.6 km/h / 1.5 m/s	-	N/A	Despejado
8:00 PM	22.0 °C	21.0 °C	94%	1010 HPA	10.0 Kilómetros	Este	11.1 km/h / 3.1 m/s	-	N/A	Nubes Dispersas
9:00 PM	22 °C	21 °C	95%	1011 HPA	12 Kilómetros	Este	3.7 km/h /	-	-	Parcialmente Nublado



Pilote Norden
Viento en km/h

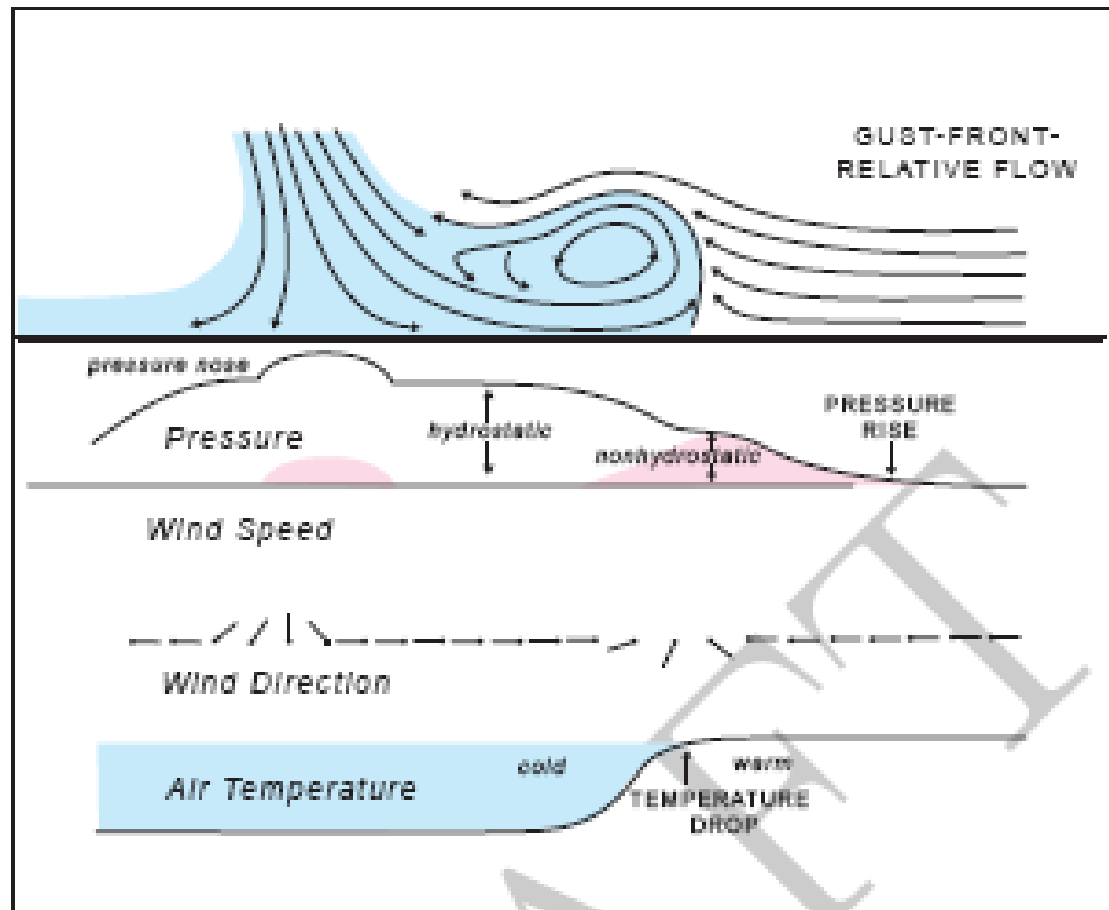
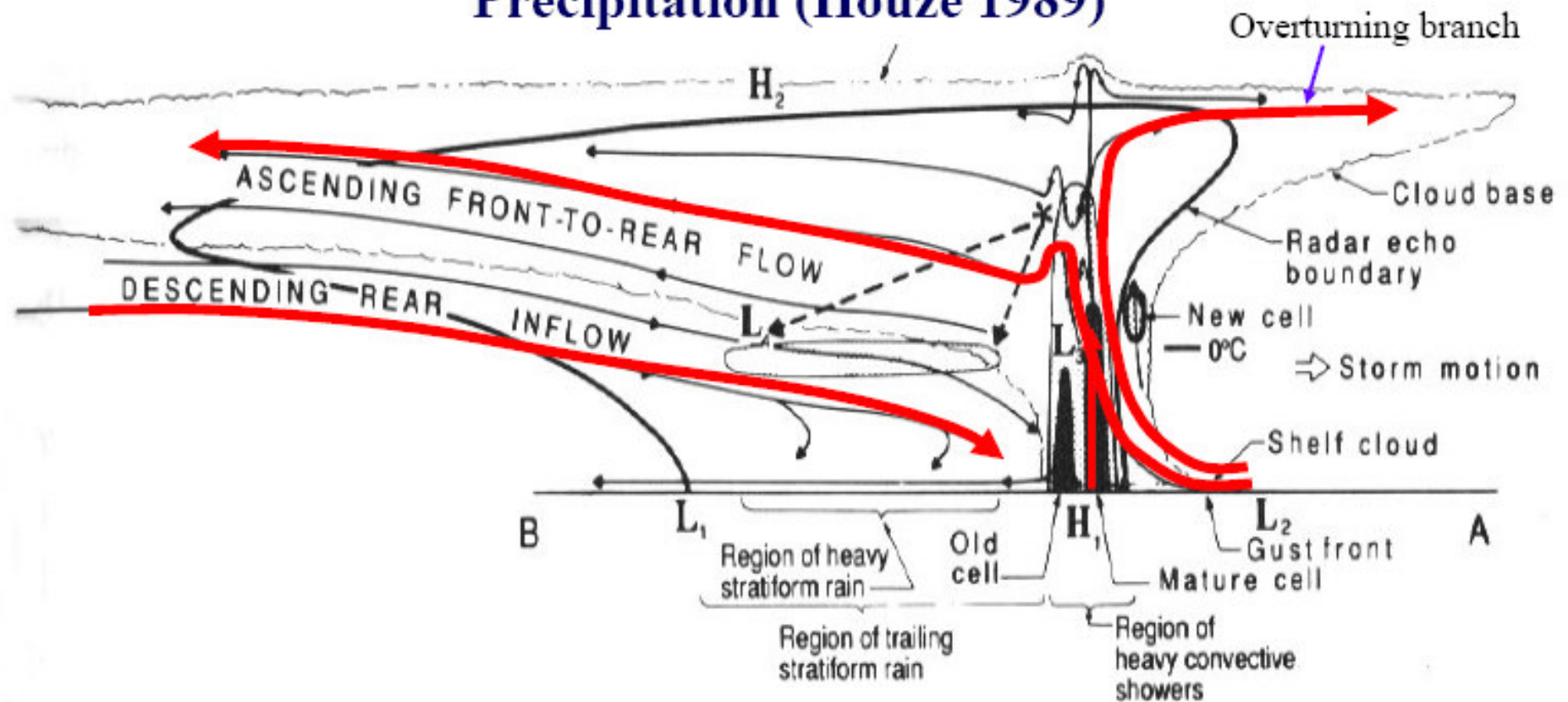


Figure 5.23. Conceptual model of surface observations during the passage of a gust front in its mature stage. Note that part of the pressure excess is due to nonhydrostatic effects (cf. Fig. 2.6). [Adapted from Wakimoto (1982).]

Conceptual Model Squall Lines with Trailing Stratiform Precipitation (Houze 1989)



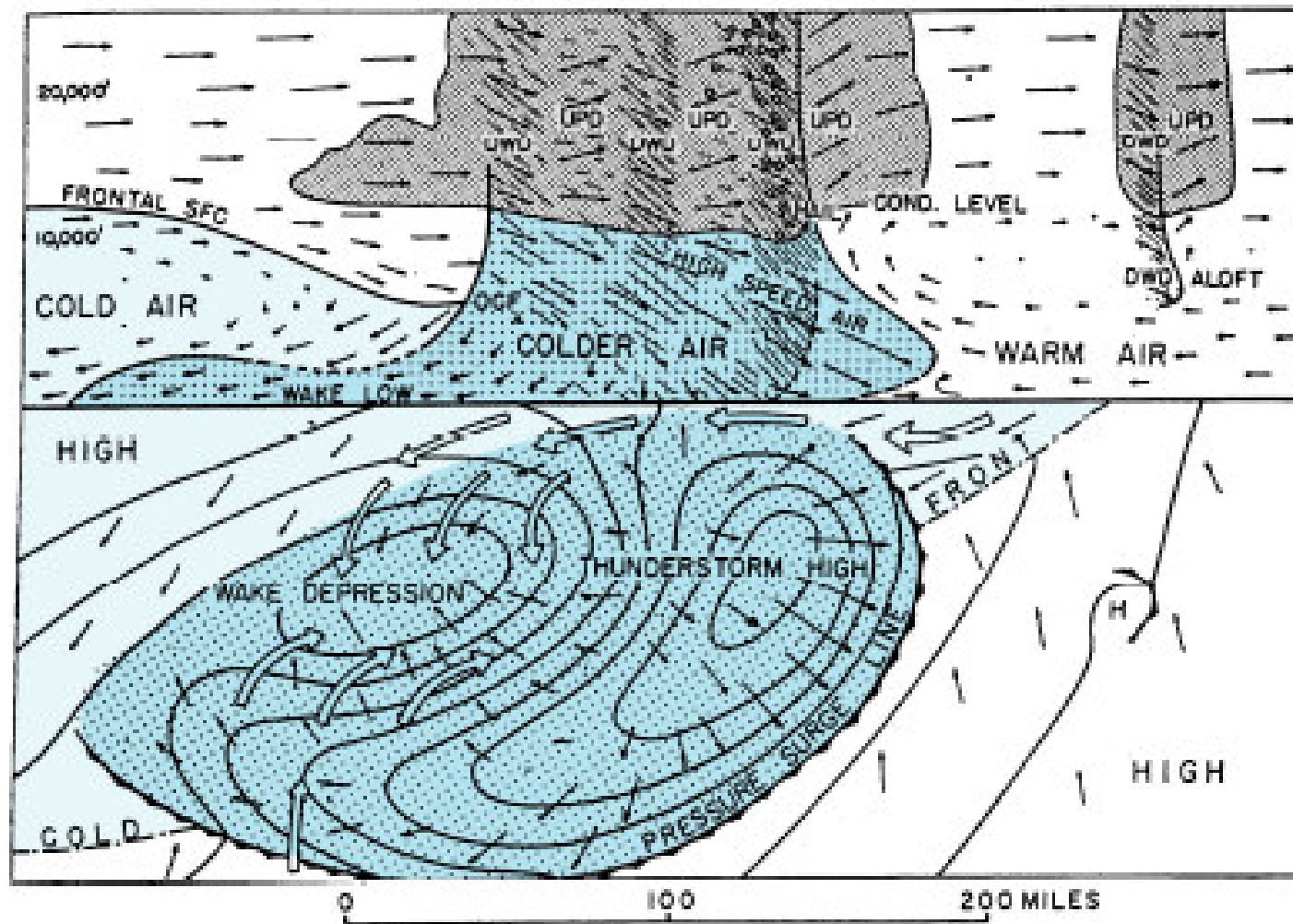


Figure 5.24. Fujita's early model of squall-line circulation, showing high and low pressure regions at the surface. [Adapted from Fujita (1955).]

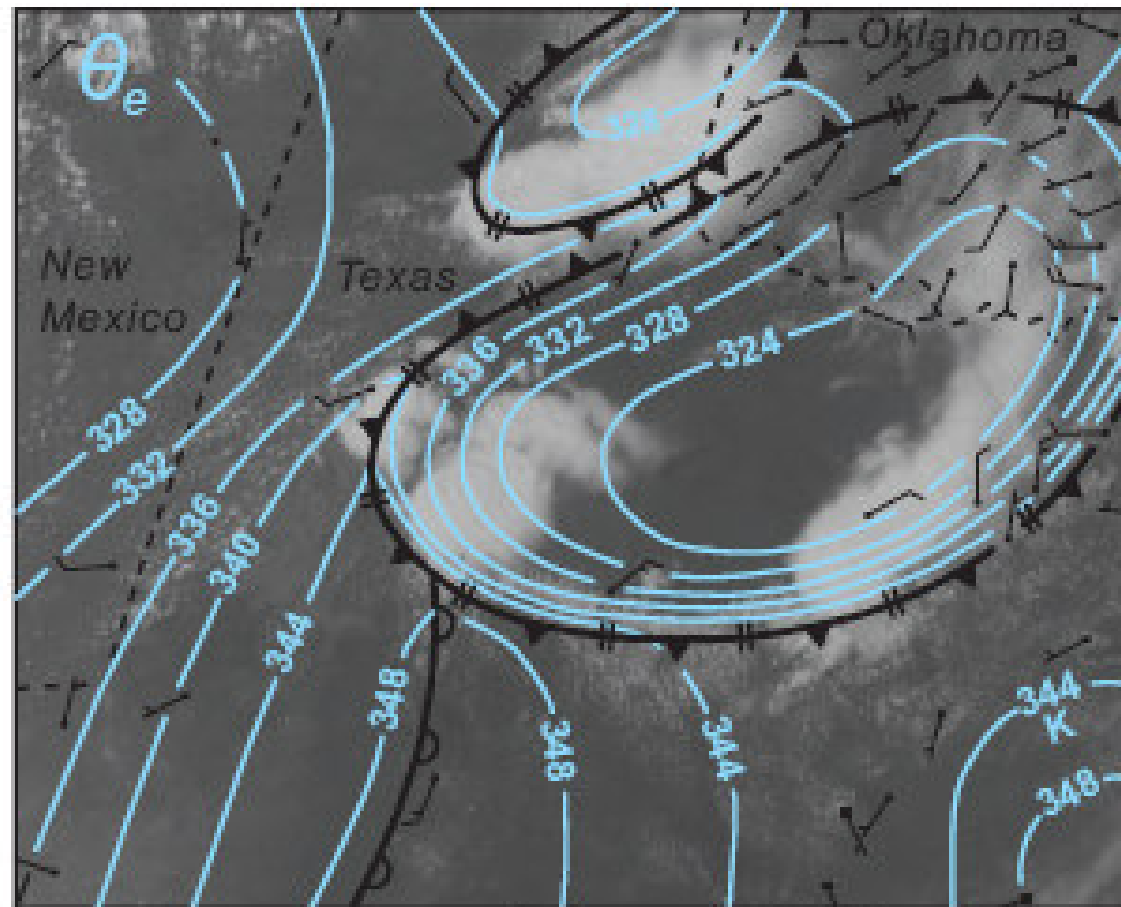


Figure 5.20. Visible satellite image of convective outflow from 2000 UTC 31 May 1995, with θ_e contours overlaid. Outflow boundaries are indicated using the symbology introduced in Fig. 5.1. A dry-line (section 5.2) also is analyzed using unfilled scallops. [Adapted from Wakimoto et al. (2004a).]

Ciclo de vida de la precipitación

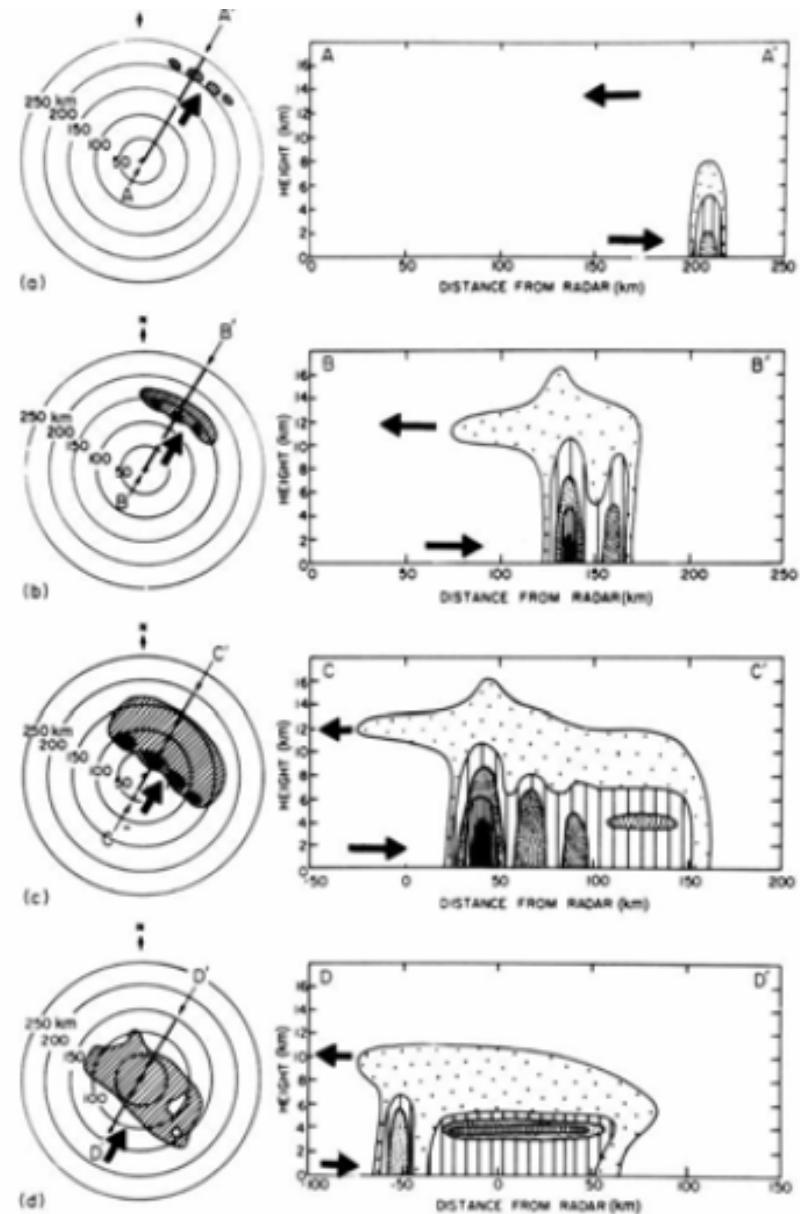
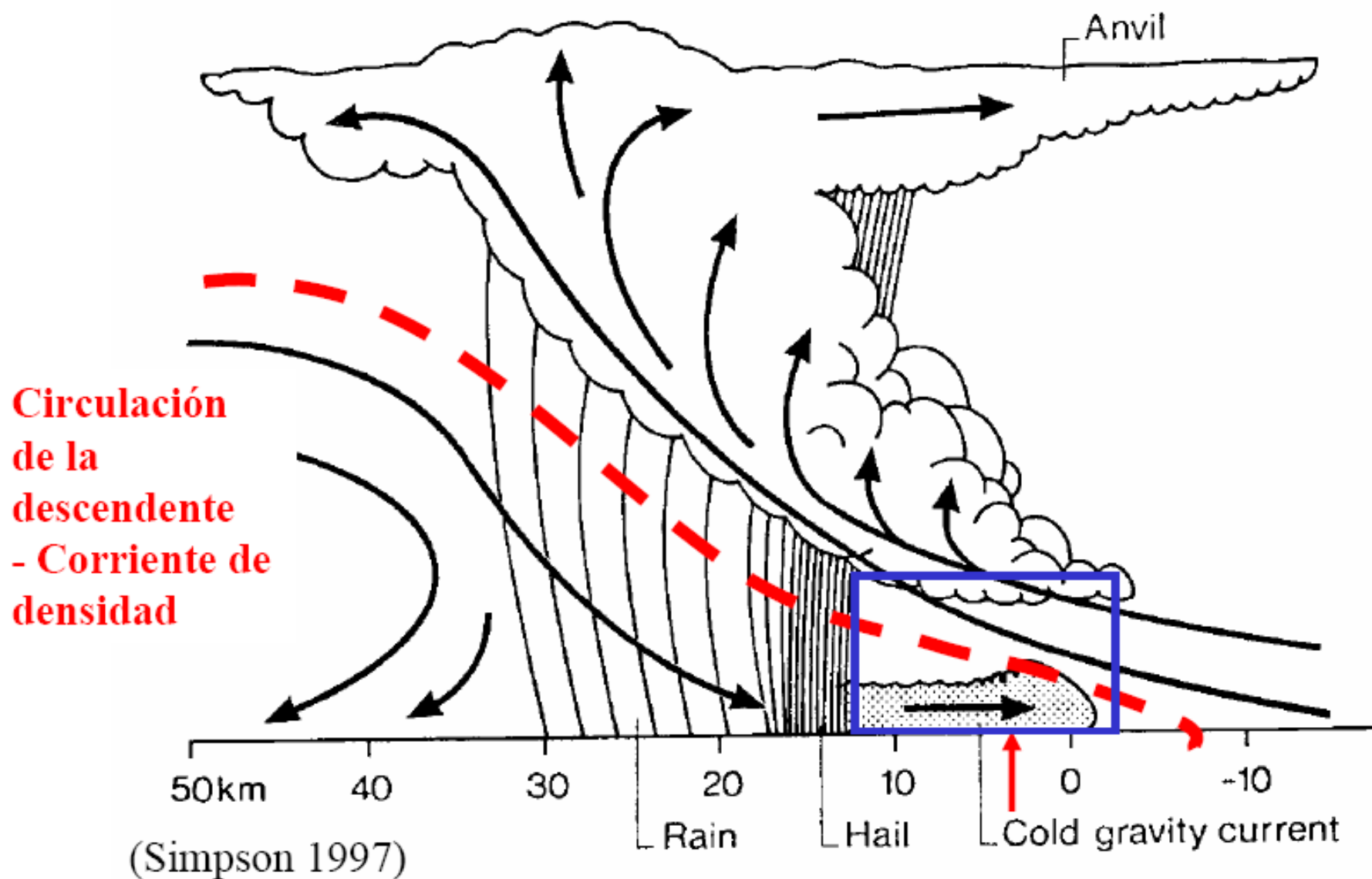


Figure 9.11 Schematic of the life cycle of the precipitation area of a mesoscale convective system as it would appear on radar in horizontal and vertical cross sections during (a) formative, (b) intensifying, (c) mature, and (d) dissipating stages. The outside contour of radar reflectivity represents the weakest detectable echo. The inner contours are for successively higher reflectivity values. Heavy arrows indicate the direction of the wind relative to the system. (From Leary and Houze, 1979. Reproduced with permission from the American Meteorological Society.)

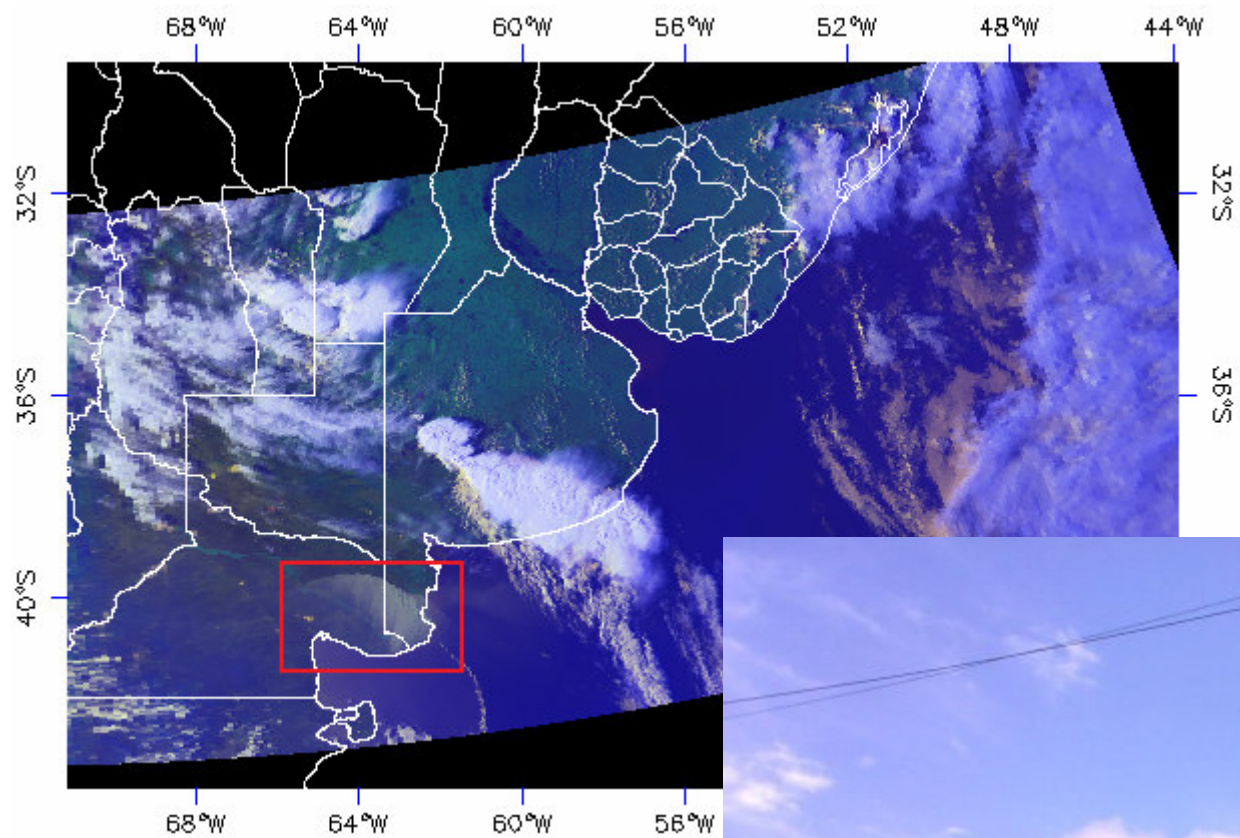
Temas a desarrollar en esta clase

- ❖ Definición y ejemplos de tormentas multicelulares
- ❖ Ciclo de vida de las tormentas multicelulares
- ❖ Líneas de Inestabilidad
- ❖ **Frente de ráfagas**
- ❖ Rol de la cortante y el frente de ráfagas en tormentas multicelulares

Modelo esquemático de una tormenta y del flujo saliente de su corriente de densidad

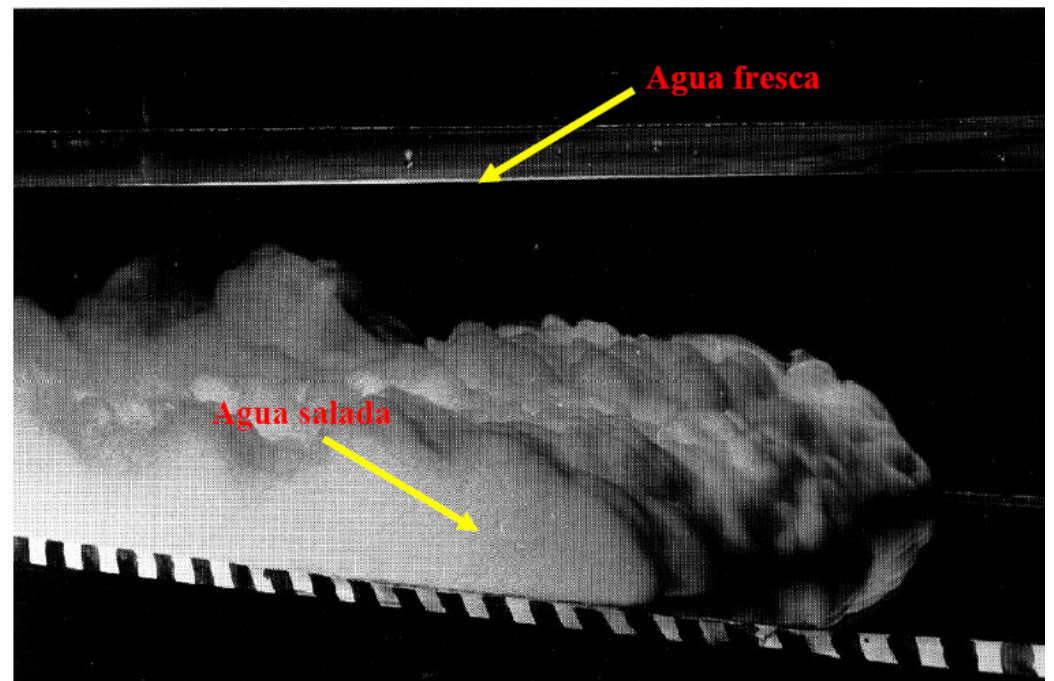




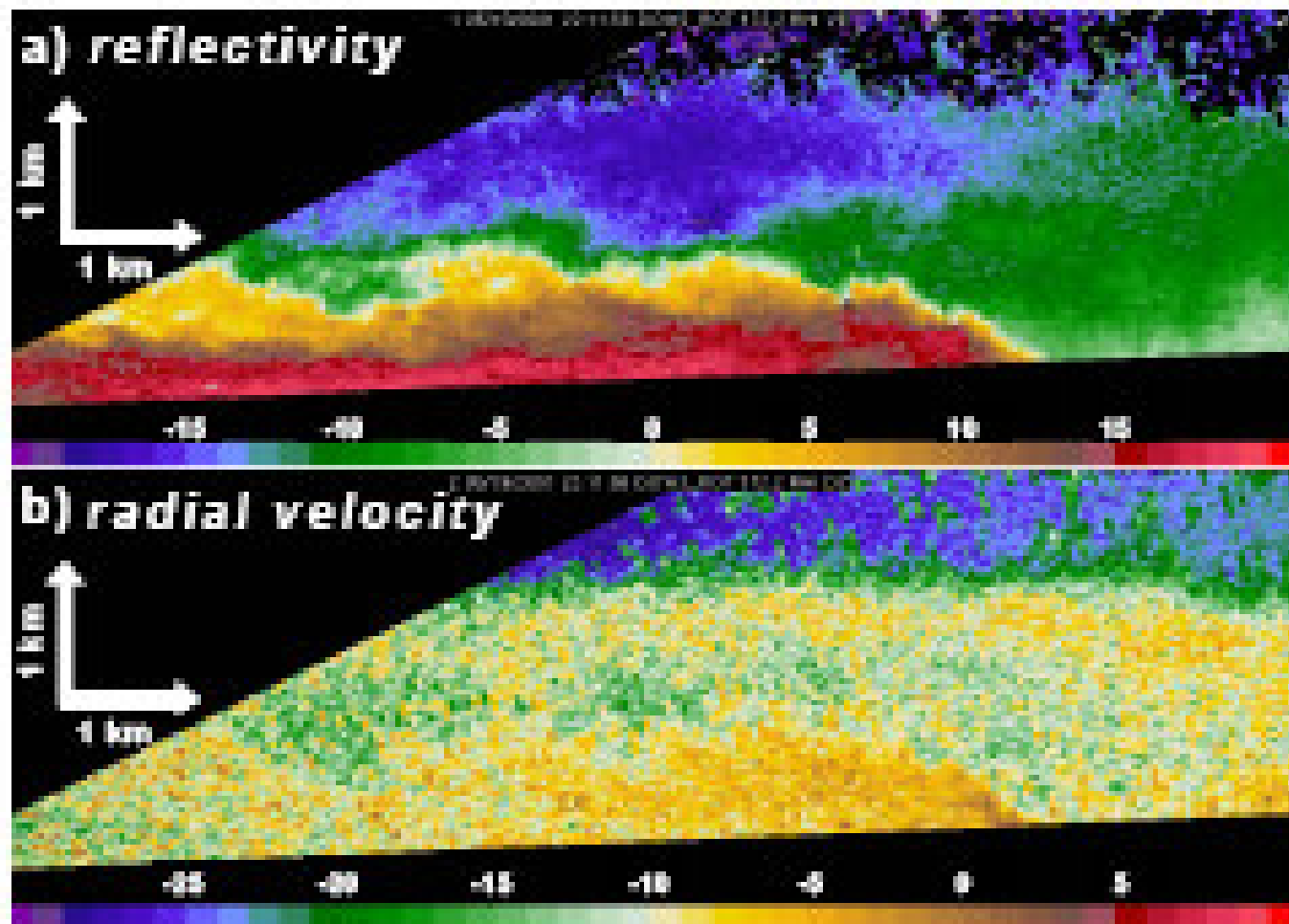




En el laboratorio



Animaciones!!! En el Laboratorio

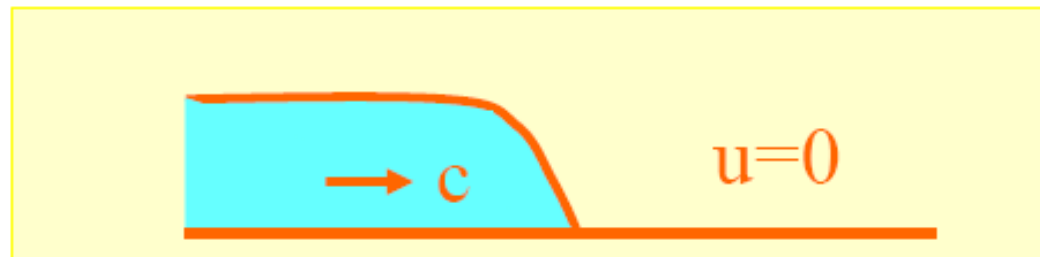


Cómo se explica el desplazamiento del frente de ráfagas?

Considerando que es un flujo de densidad

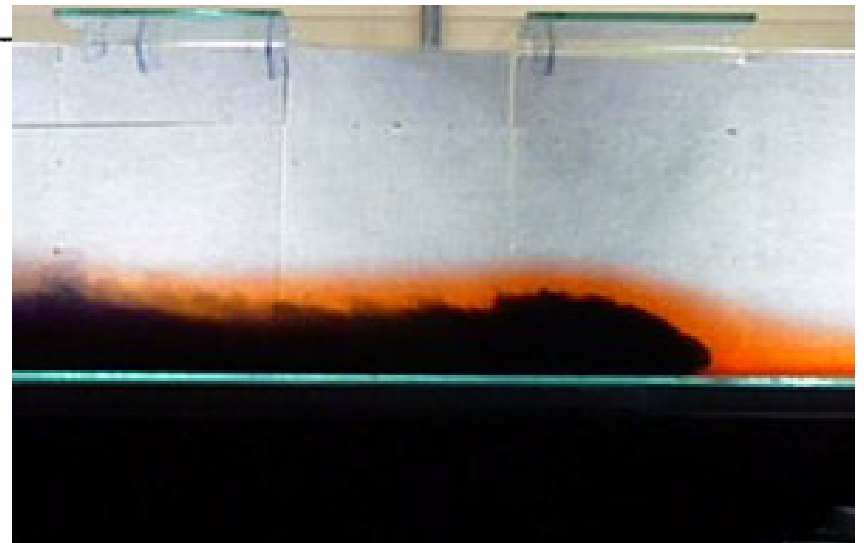
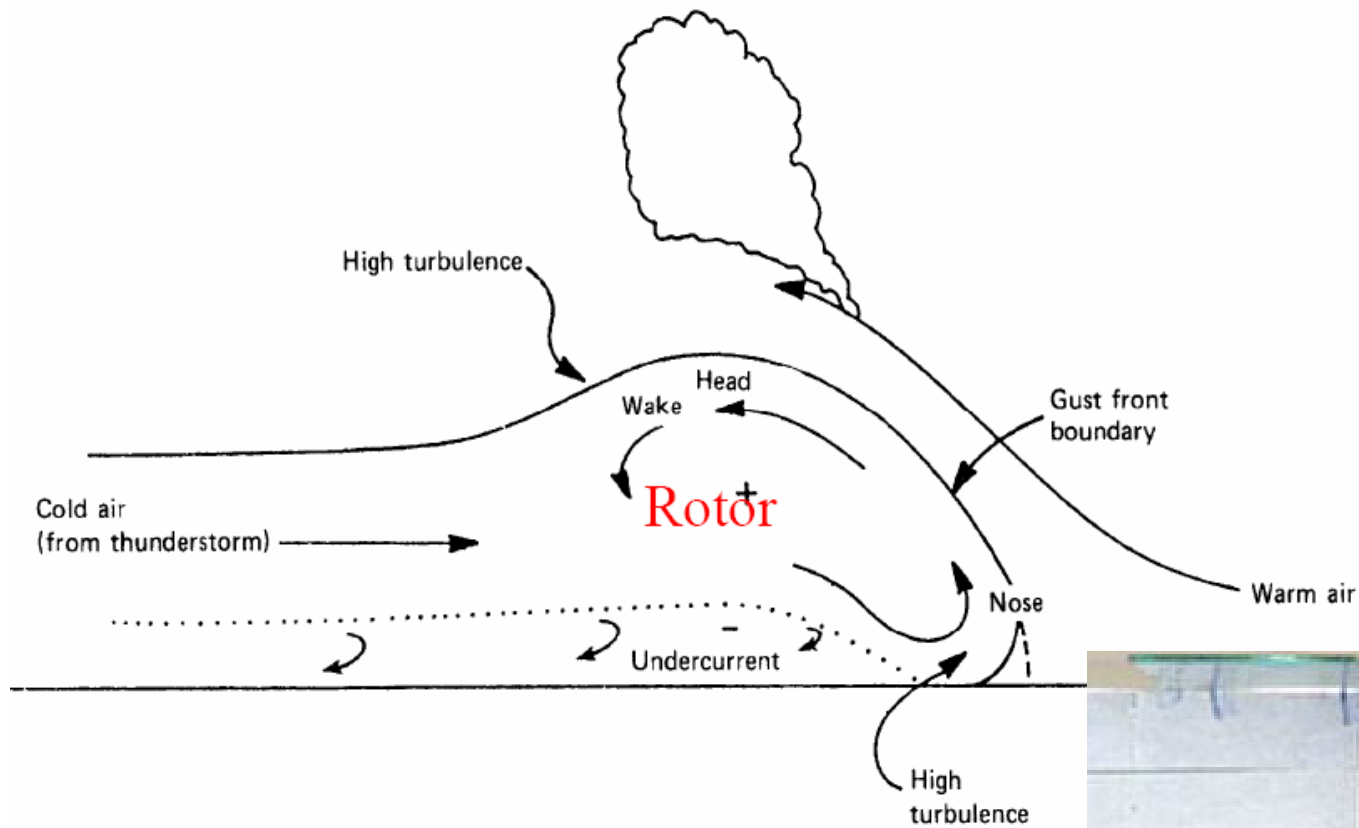
El frente de ráfagas se propaga a lo largo de superficie en la forma de una corriente de densidad o de gravedad

Una corriente de densidad o de gravedad, es una región de fluido denso que se propaga en un entorno de menor densidad forzado por el gradiente horizontal de presión a través de la superficie frontal.

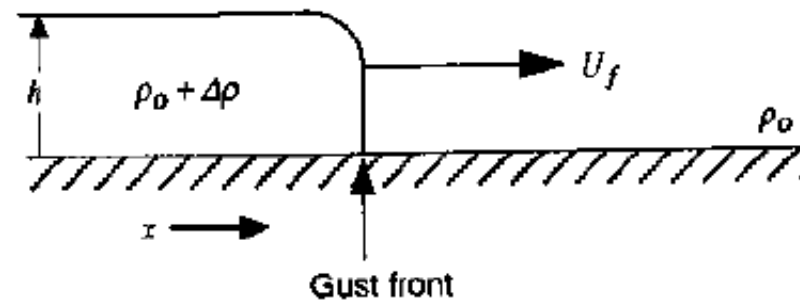


Esquema del flujo saliente de una tormenta

(Goff 1976, basado en mediciones en torre instrumentada)



Velocidad de Propagación del frente de ráfagas– Cómo determinarlo?



- Para una corriente de densidad idealizada como la que se muestra en la Fig,

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial x}$$

- Qué aceleraciones ignoramos? Fricción, Coriolis, efecto del mov. vertical
- Ahora, a fin de simplificar el problema, nos ubicamos **en un sistema de coordenadas que se mueve con el frente de ráfagas**. En este sistema de coordenadas, la corriente de densidad/frente de ráfagas es estacionaria, y la **velocidad del flujo entrante relativa al frente** en el caso en que se propague en un entorno en calma es igual a la velocidad del frente de ráfagas (con signo menos). Además suponemos que el flujo es estacionario en este sistema de coordenadas, suposición razonablemente válida cuando no se tienen en cuenta los efectos turbulentos.

$$\frac{\partial}{\partial t} = 0 \Rightarrow u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial x} \Rightarrow \frac{\partial u^2 / 2}{\partial x} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial x}$$

Velocidad de Propagación del frente de ráfagas

- Se integra la ecuación anterior a lo largo de una línea de corriente a lo largo del borde inferior desde lejos donde $u_R = U_f$ and $p' = 0$ hasta un punto justo detrás del frente de ráfagas donde $u_R = 0$ y $p' = \Delta p$:

$$\frac{U^2}{2} = \frac{\Delta p}{\rho_0} \Rightarrow U = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_0}}$$

- Esta expresión relaciona la velocidad de propagación del frente de ráfagas con la perturbación de presión en superficie (Δp) asociada con el sumidero frío/la corriente de densidad.
- Esta fórmula es general. Las contribuciones a la perturbación de p en superficie resultantes del sumidero frío (efecto hidrostático), el calentamiento en niveles más altos (también efecto hidrostático), el efecto no-hidrostático (aceleración vertical) y la perturbación de presión dinámica pueden todos estar incluidos.

Velocidad de Propagación del frente de ráfagas

- Si suponemos que el Δp es puramente debido al efecto hidrostático de un fluido (aire) más denso ($\rho = \rho_0 + \Delta\rho$) dentro del sumidero frío de profundidad h (otros efectos son ignorados), es posible reescribir la formula anterior (suponiendo que la perturbación de presión por encima del sumidero frío es nula) como:

$$U_f = [2gh(\Delta\rho)/\rho_0]^{1/2},$$

- En lo anterior se utiliza la ecuación de movimiento vertical (con $dw/dt = 0$) y se integra desde superficie hasta el tope de la corriente de densidad a la altura h .
- Es posible estimar un valor para U_f si aproximamos $\Delta\rho/\rho_0 = -\Delta\theta/\theta_0$, entonces $U_f = [2gh(-\Delta\theta/\theta_0)]^{1/2}$ y si suponemos valores para $\theta_0 = 300K$, $\Delta\theta = -4K$, $h = 1.5$ km y con el valor obtenido U_f es posible estimar un valor para Δp .
- En este caso, la velocidad de la corriente de densidad es dependiente de la profundidad de la corriente de densidad y de la diferencia de densidades a través del frente, resultado esperado.
- Cuando se incluyen otros efectos, la velocidad puede ser algo diferente. Pero generalmente es correcto decir que, cuanto más profunda y/o más densa es la corriente de densidad/sumidero frío, se propaga más rápido.

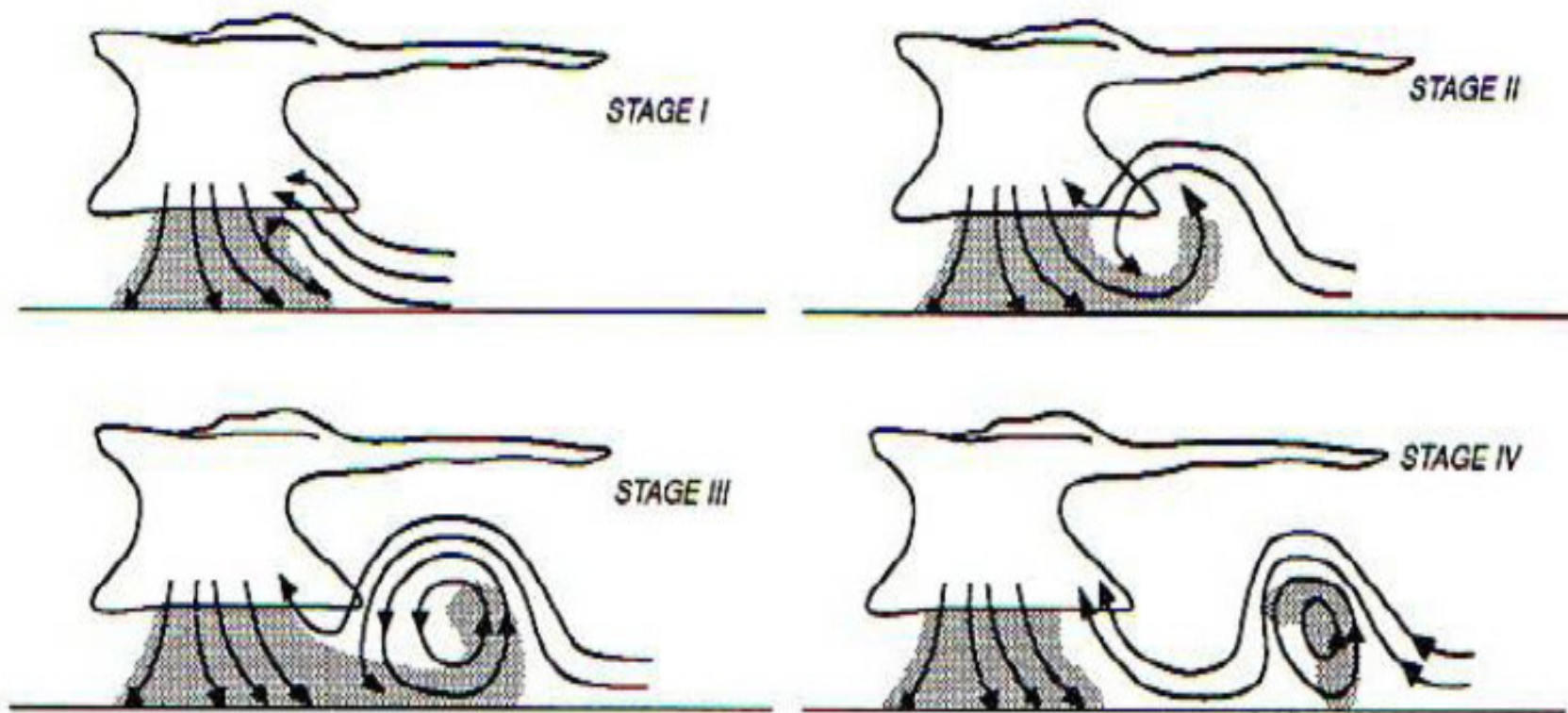
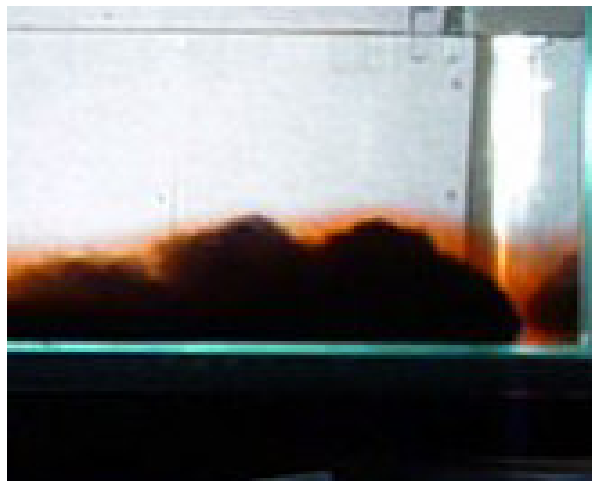
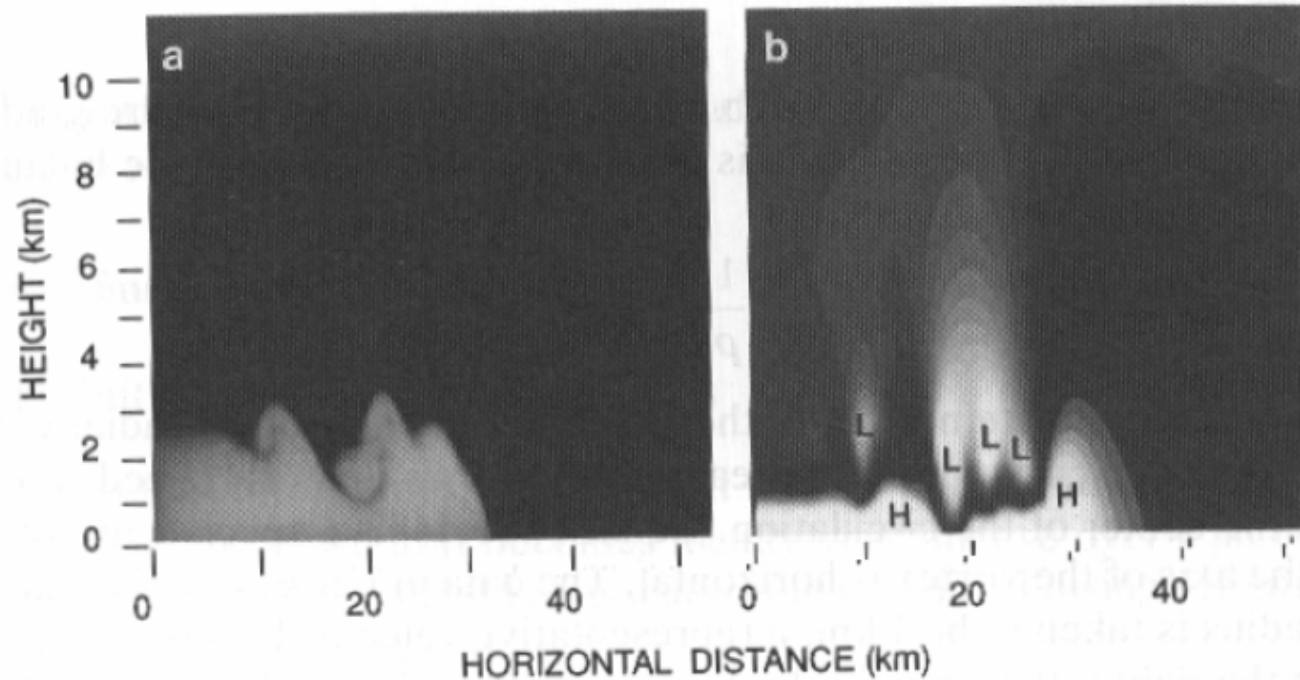


Figure 8.45

Perturbaciones de presión asociadas con rotores/ torbellinos tipo Kelvin- Helmholtz



Perturbaciones de presión en la región de la cabeza y circulación rotacional asociada

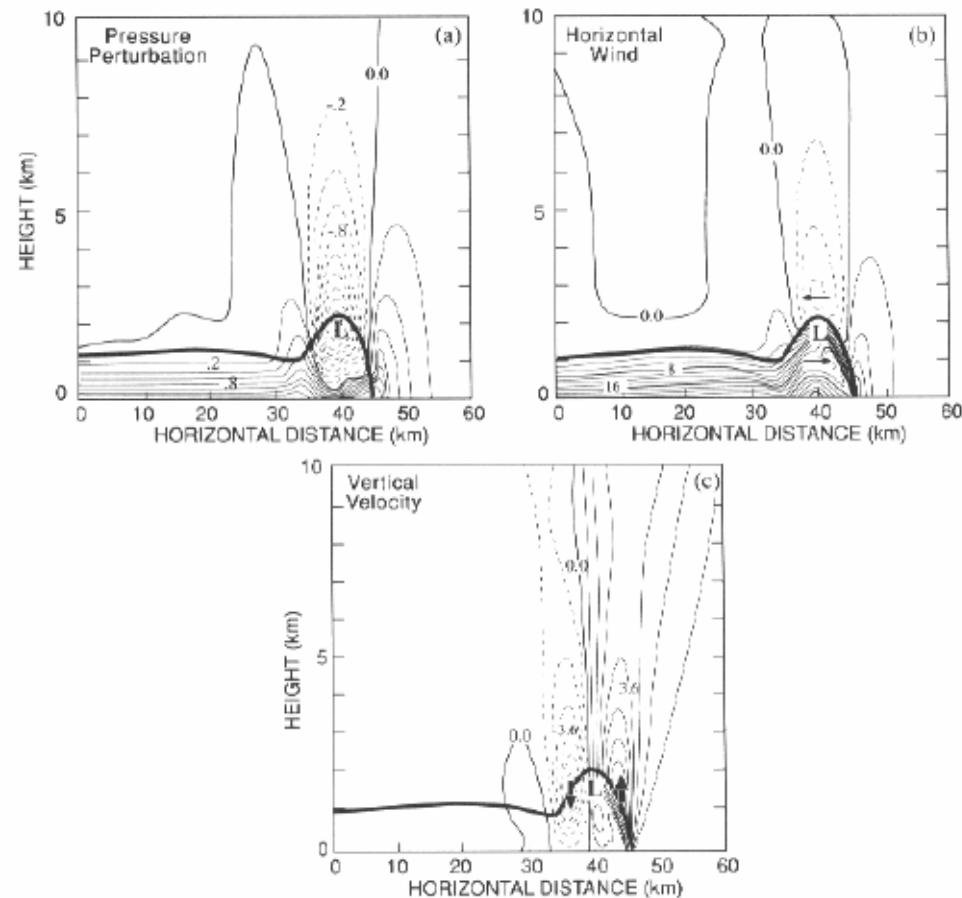


Figure 8.42 Numerical-model simulation of a thunderstorm outflow structure illustrating the pressure perturbation minimum and associated airflow in the head of the gust-front outflow. (a) Pressure perturbation (units of mb, negative values dashed). (b) Isotachs of horizontal velocity (m s^{-1}). (c) Isotachs of vertical air motion (m s^{-1}). The bold solid contour denotes the outflow boundary (-0.1°C potential temperature perturbation). (From Droegebeier and Wilhelmson, 1987. Reprinted with permission from the American Meteorological Society.)

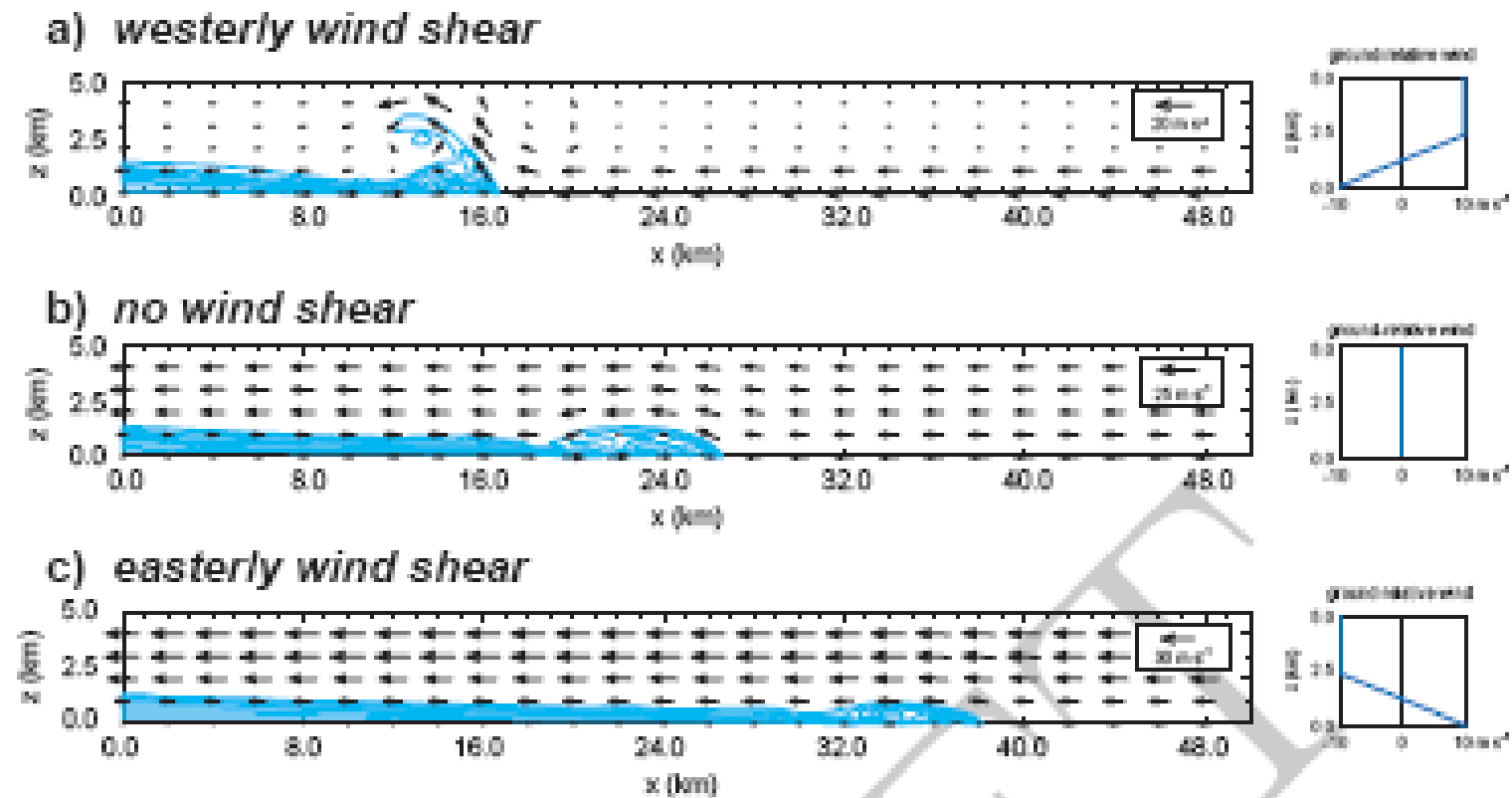


Figure 5.31. Numerical simulation of an eastward-moving density current in an environment containing (a) westerly wind shear, (b) no wind shear, and (c) easterly wind shear. (The no-shear case is identical to that which appears in Fig. 5.30.) Potential temperature perturbations are contoured at 1 K intervals within the cold pool starting at -1 K. Wind vectors are relative to the density current ($U_c \approx 19$, 11, and 8 m s^{-1} in the easterly shear, no shear, and westerly shear cases, respectively). The ground-relative vertical wind profiles are shown for each case on the right. All three cases have the same mean wind speed ($=0 \text{ m s}^{-1}$) in the lowest 2.5 km. The model domain extends to 10 km; only the lowest 5 km of the model domain is shown.