

# Convección y Microfísica de Nubes

Tema: Fenómenos Severos  
Tornados

1º Cuatrimestre 2010

Paola Salio

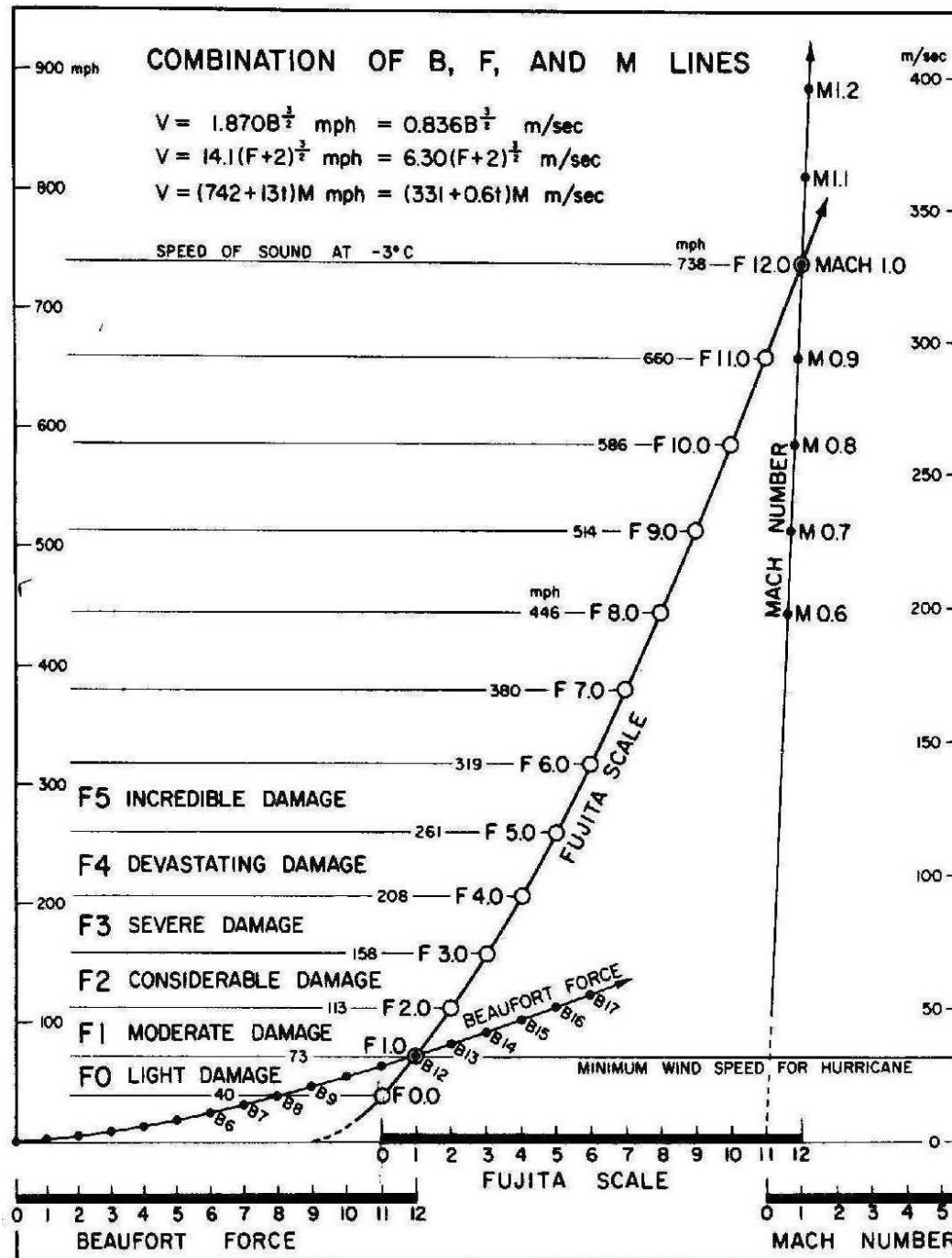
# Tornado:

Una **violenta columna de aire rotante**, que hace **contacto con el suelo** y está suspendida de una nube cumuliforme (**Cb**) y generalmente presenta una nube tubular con objetos y tierra en su base.



# Escalas de Clasificación de los Tornados

## Escala Fujita



# Escalas de Clasificación de los Tornados

## Escala Enhanced Fujita

Table 5

EF-Scale Wind Speed Ranges Derived from Fujita-Scale Wind Speed Ranges

Fujita Scale			EF Scale	
Fujita Scale	Fastest 1/4-mile Wind Speeds, mph	3-Second Gust Speed, mph	EF Scale	3-Second Gust Speed, mph
F0	40 - 72	45 - 78	EF0	65 - 85
F1	73 - 112	79 - 117	EF1	86 - 109
F2	113 - 157	118 - 161	EF2	110 - 137
F3	158 - 207	162 - 209	EF3	138 - 167
F4	208 - 260	210 - 261	EF4	168 - 199
F5	261 - 318	262 - 317	EF5	200 - 234

A partir del año 2007 Basada en problemas en la categorización arbitraria en base al observador

Table 3.

## Damage Indicators for EF Scale

DI No.	Damage indicator (DI)
1	Small Barns or Farm Outbuildings (SBO)
2	One- or Two-Family Residences (FR12)
3	Manufactured Home – Single Wide (MHSW)
4	Manufactured Home – Double Wide (MHDW)
5	Apartments, Condos, Townhouses [3 stories or less] (ACT)
6	Motel (M)
7	Masonry Apartment or Motel Building (MAM)
8	Small Retail Building [Fast Food Restaurants] (SRB)
9	Small Professional Building [Doctor's Office, Branch Banks] (SPB)
10	Strip Mall (SM)
11	Large Shopping Mall (LSM)
12	Large, Isolated Retail Building [K-Mart, Wal-Mart] (LIRB)
13	Automobile Showroom (ASR)
14	Automobile Service Building (ASB)
15	Elementary School [Single Story; Interior or Exterior Hallways] (ES)
16	Junior or Senior High School (JHSH)
17	Low-Rise Building [1-4 Stories] (LRB)
18	Mid-Rise Building [5-20 Stories] (MRB)
19	High-Rise Building [More than 20 Stories] (HRB)
20	Institutional Building [Hospital, Government or University Building] (IB)
21	Metal Building System (MBS)
22	Service Station Canopy (SSC)
23	Warehouse Building [Tilt-up Walls or Heavy-Timber Construction](WHB)
24	Transmission Line Towers (TLT)
25	Free-Standing Towers (FST)
26	Free-Standing Light Poles, Luminary Poles, Flag Poles (FSP)
27	Trees: Hardwood (TH)
28	Trees: Softwood (TS)

## 1. SMALL BARNS AND FARM OUTBUILDINGS (SBO)

### Typical Construction

- Less than 2500 sq ft
- Wood or metal post and beam construction
- Wood or metal roof trusses
- Wood or metal panel siding
- Metal or wood roof
- Large doors

DOD*	Damage description	EXP	LB	UB
1	Threshold of visible damage	62	53	78
2	Loss of wood or metal roof panels	74	61	91
3	Collapse of doors	83	68	102
4	Major loss of roof panels	90	78	110
5	Uplift or collapse of roof structure	93	77	114
6	Collapse of walls	97	81	119
7	Overturning or sliding of entire structure	99	83	118
8	Total destruction of building	112	94	131

\* Degree of Damage

Idealmente se recomienda para poder categorizar un tornado:

- ✓ Realizar un recorrido aéreo del área afectada y definir la zona del trazado del tornado.
- ✓ Identificar los edificios mencionados y localizar los que presentan daños.
- ✓ Realizar un recorrido terrestre de los edificios e identificar los daños.
- ✓ Considerar los distintos niveles de daño en cada edificación.
- ✓ Luego asignar un posible valor en la escala E-F





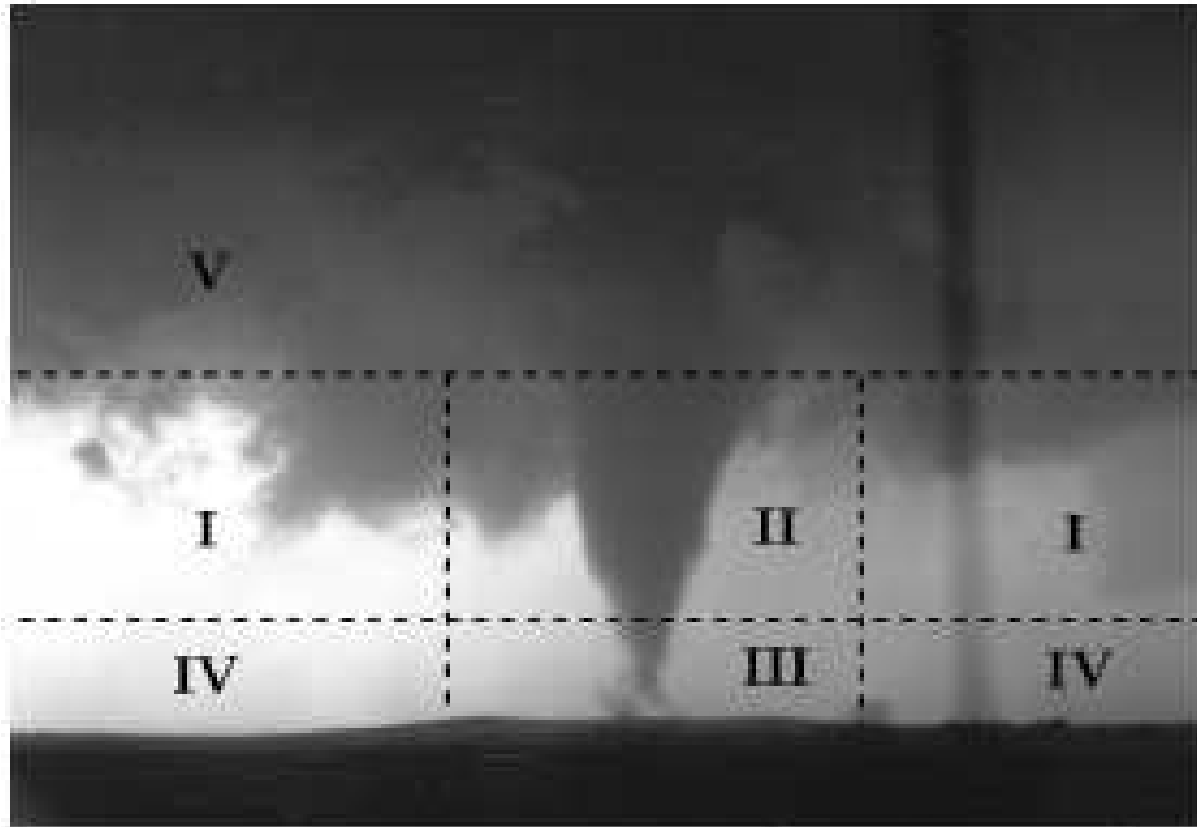


# Tipos de tornados

- Tipo 1: se generan a partir de superceldas, asociado a un mesociclón en niveles bajos.
- Tipo 2: no se generan en tormentas supercelulares. Generalmente asociados a regiones con fuerte cortante de viento horizontal que se desplazan lentamente. Mas generalmente asociados a tornados mas angostos con forma de cuerda



# Partes que conforman al tornado



I=Outer Region

II= Core Region

III=Corner Region

IV=Boundary Layer flow

V= Rotating Updraft

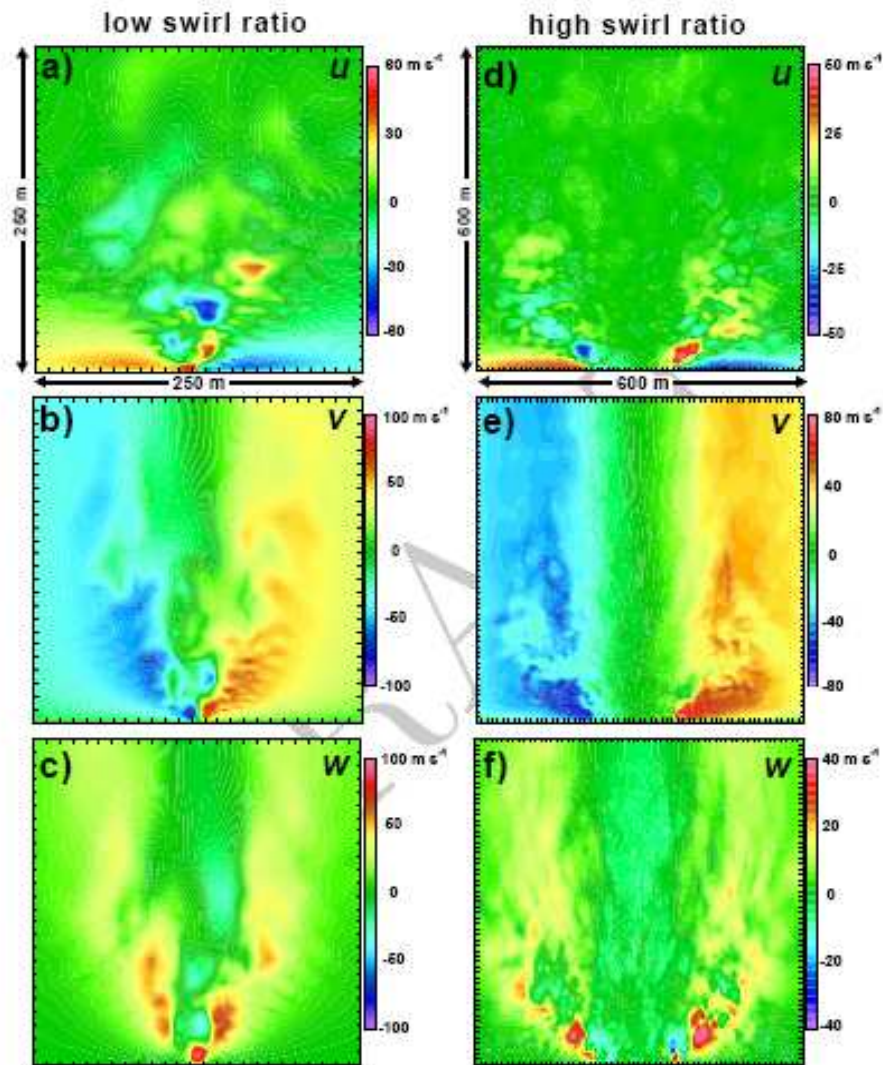


Figure 10.18. (a)–(c) Vertical cross-sections of instantaneous radial ( $u$ ), tangential ( $v$ ), and vertical ( $w$ ) velocities in a numerically simulated tornado having a low swirl ratio. The cross-sections are taken through the center of the tornado. (d)–(f) As in (a)–(c), but for a simulated tornado having a high swirl ratio. Courtesy of Dave Lewellen.

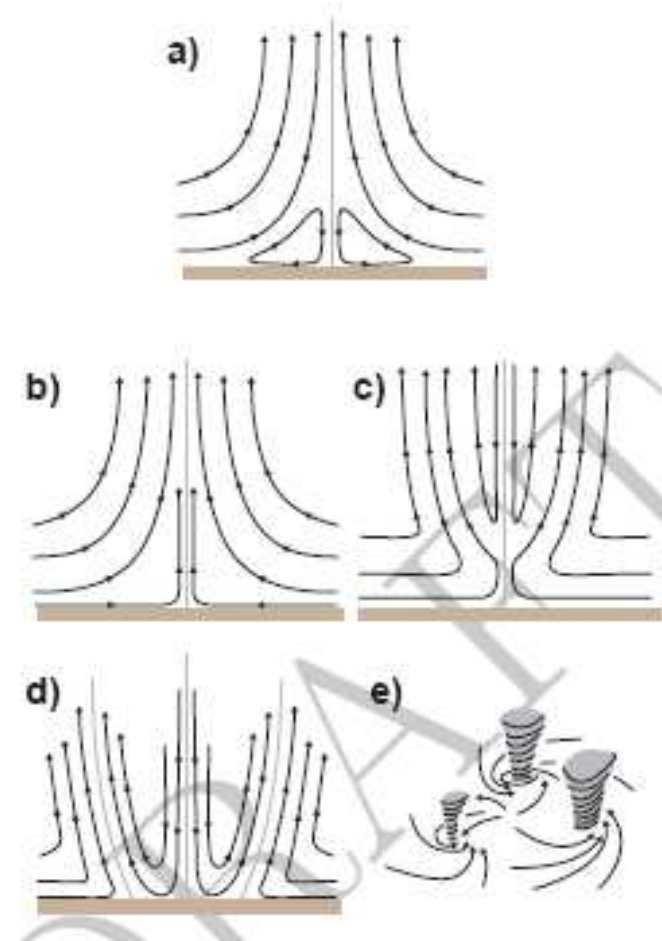


Figure 10.20. Types of vortices produced in a vortex chamber as swirl ratio increases: (a) weak swirl—boundary layer separates and passes around lower corner; (b) one-celled vortex; (c) one-celled vortex over lower portion, two-celled vortex over upper portion, separated by vortex breakdown; (d) two-celled vortex; and (e) multiple vortices. In (a)–(d) only meridional motion is shown. [Adapted from Davies-Jones (1986).]

Cuáles son los procesos que desencadenan la formación de un tornado?







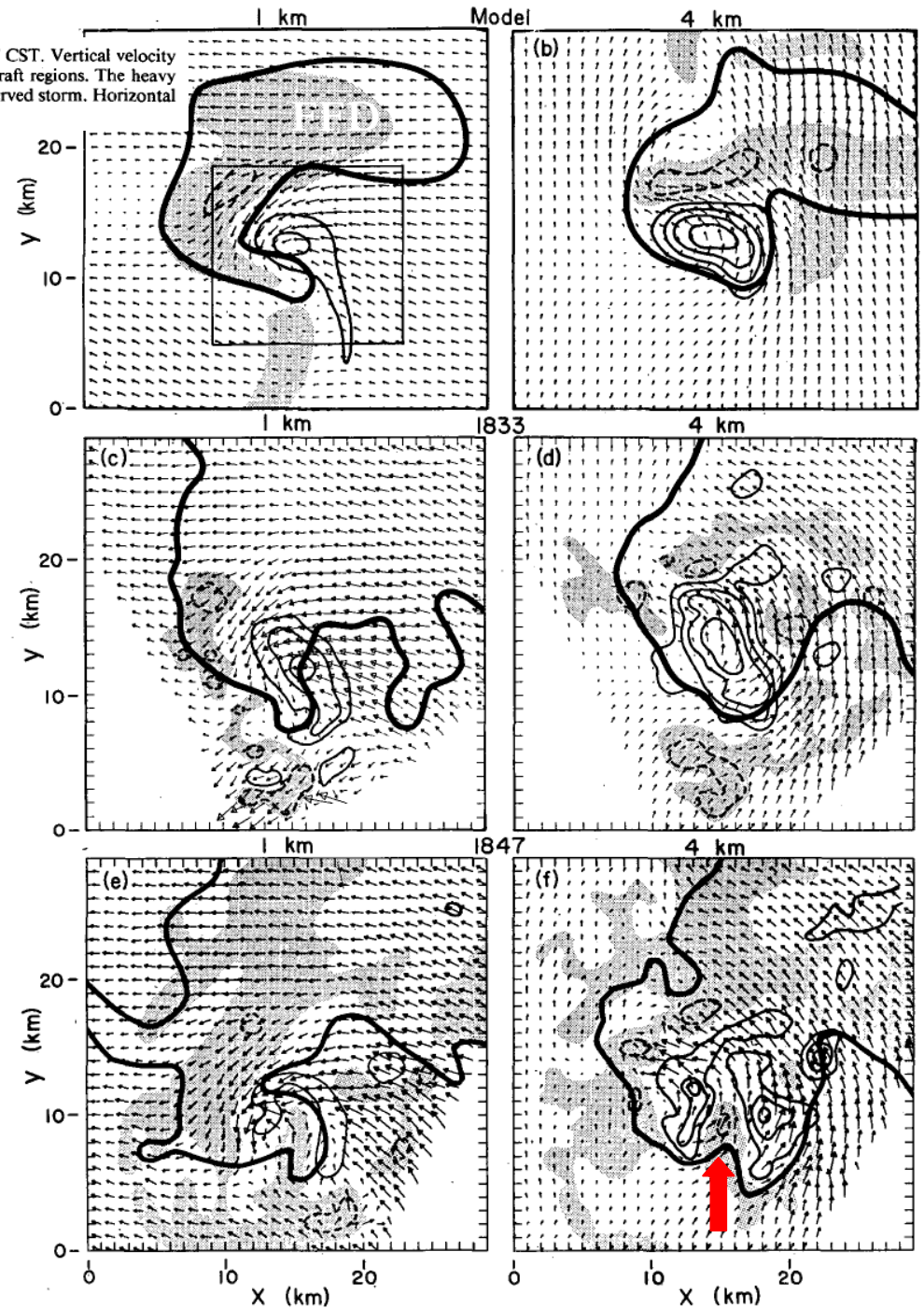


## A fin de entender los procesos que desencadenan la formación del tornado a partir de una supercelda rotante

Klemp and Rotunno 1983: Study of the Tornadic region within a supercell thunderstorm. JAS

- Simulación numérica tridimensional
- No incluye la fase hielo, solo agua.
- Estudia un caso “famoso”, la tormenta de Dell City del 20 de Mayo de 1977 en EEUU con hodógrafa con giro ciclónico y un cape de 3300 J/kg. Produjo un tornado F4.
- Disponen de varias simulaciones con distintas resoluciones espaciales (4 – 1 km) pero en este trabajo hacen una simulación de 10 minutos con 250 m de resolución sobre la porción asociada al tornado de la supercelda y utiliza la simulación en la escala de la tormenta disponible de trabajos anteriores

FIG. 3. Cross-sections at 1 and 4 km for model simulation and Del City storm observations at 1833 and 1847 CST. Vertical velocity is contoured in  $5 \text{ m s}^{-1}$  intervals except for 1847 which is in  $10 \text{ m s}^{-1}$  intervals. Shaded areas designate downdraft regions. The heavy solid line denotes the  $0.5 \text{ g kg}^{-1}$  rainwater contour in the model and the  $30 \text{ dB}(Z)$  reflectivity contour in the observed storm. Horizontal flow vectors are scaled such that one grid interval represents  $20 \text{ m s}^{-1}$ . (Taken from Klemp *et al.*, 1981.)



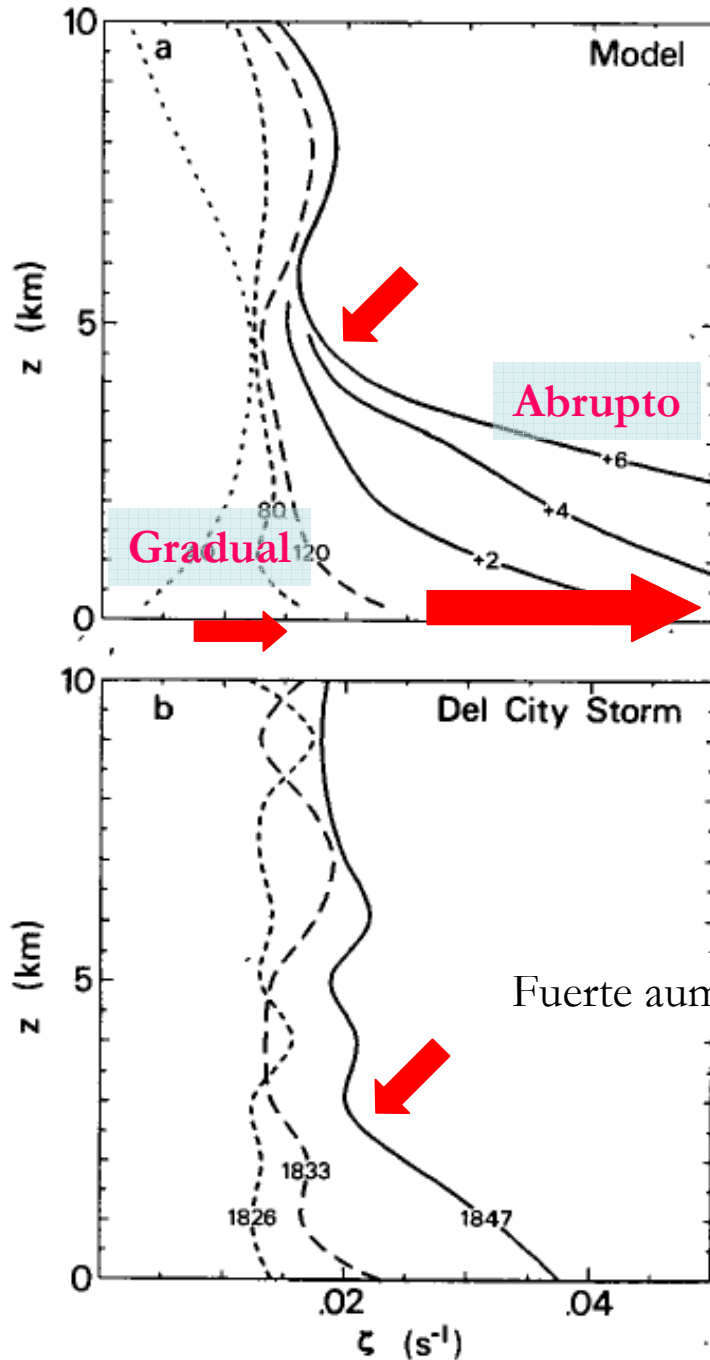
Ascendente en fase entre SFC y niveles medios  
con presencia de Rotación Ciclónica

### Momento de la Tornadogénesis

Bifurcación de la Ascendente en niveles medios  
Zona de descenso

Rotación ciclónica del cuerpo de la nube

Aumento de la vort ciclónica en SFC



tilting inclinación      stretching convergencia



$$\frac{d\zeta}{dt} = \omega_H \cdot \nabla_H W + \zeta \frac{\partial W}{\partial z} + F'_\zeta \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_H}{dt} = \omega \cdot \nabla v_H + \nabla \times (Bk) + F'_H, \quad (6)$$

tilting inclinación      baroclínico



Fuerte aumento de la vorticidad en Niveles Bajos

FIG. 6. Maximum vertical vorticity as a function of height for (a) cloud model at 40, 80 and 120 min in the storm-scale simulation and at 2, 4 and 6 min in the high-resolution simulation; and (b) the observed Del City storm at 1826, 1833 and 1847 CST, (Vorticity data for the Del City Storm were provided through personal communication by Dr. Kenneth Johnson, National Severe Storms Laboratory, Norman, Oklahoma.)

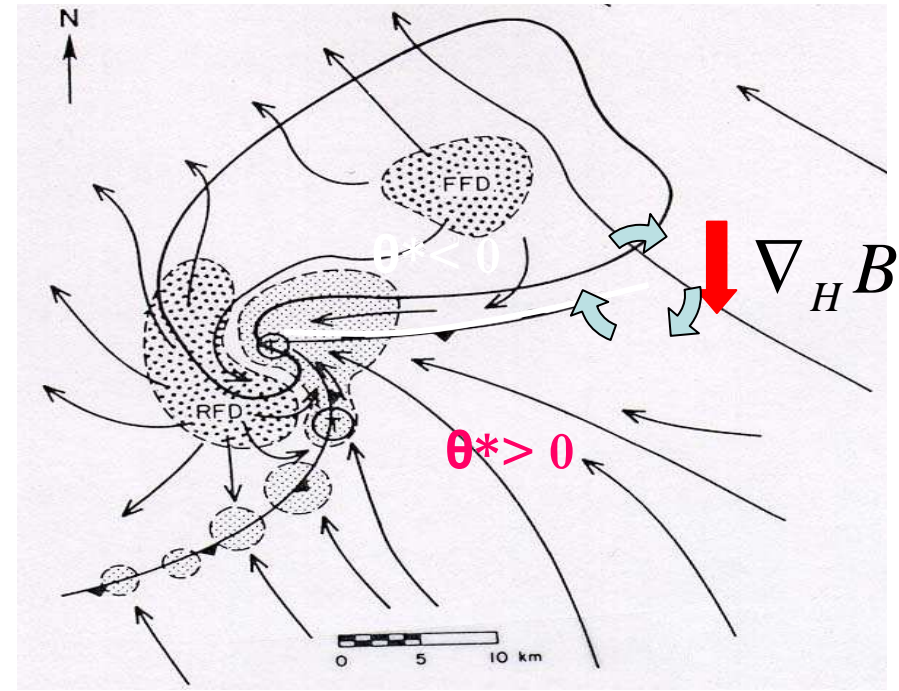
¿Cómo se genera el aumento gradual de la vorticidad cercana a la superficie?

En niveles altos => generada por el término de tilting

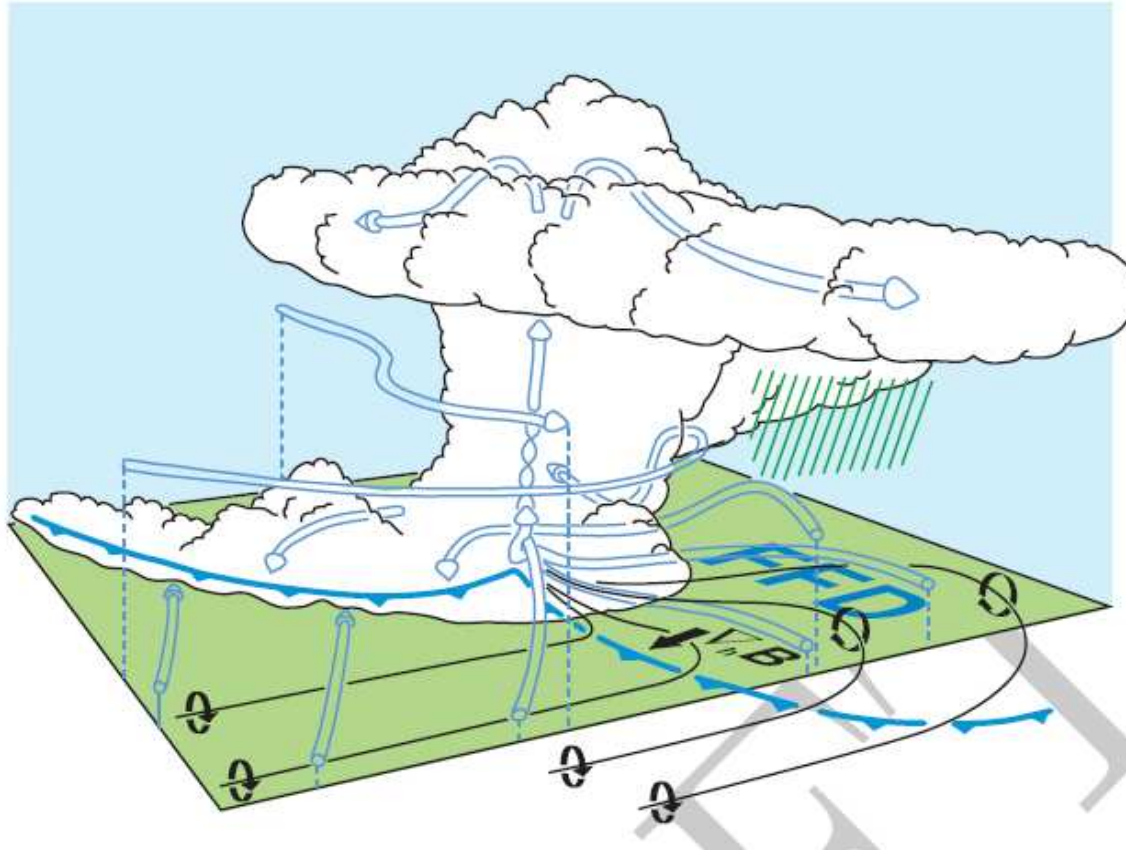
$$\frac{d\zeta}{dt} = \omega_H \cdot \nabla_H W + \zeta \frac{\partial w}{\partial z} + F'_\zeta \quad (5)$$

$$\frac{d\omega_H}{dt} = \omega \cdot \nabla v_H + \nabla \times (Bk) + F'_H, \quad (6)$$

En niveles bajos => generada por el término solenoidal



# ¿Cómo se genera el aumento gradual de la vorticidad cercana a la superficie?



A medida que la FFD se intensifica aumenta el gradiente de B

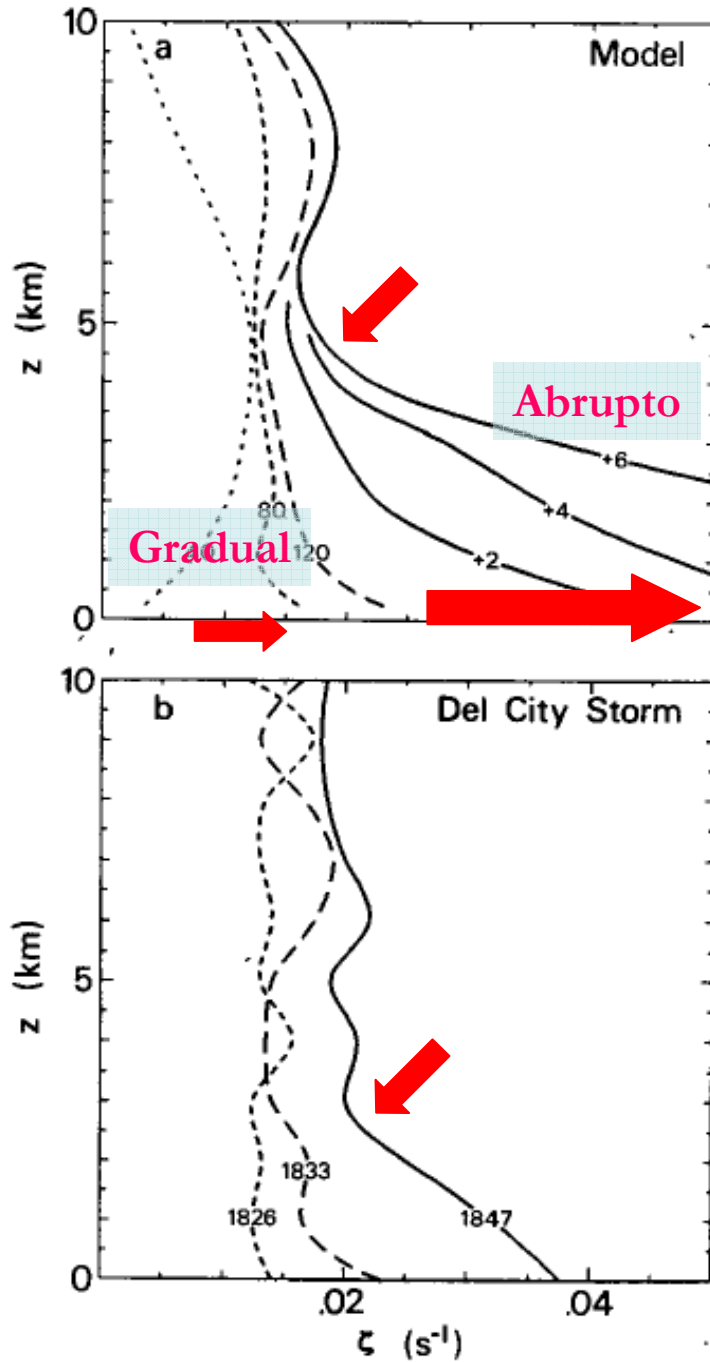
Vorticidad de eje horizontal se genera en SFC por baroclinicidad



Inclina los tubos de vórtice en la vertical  
“tilting”  
Cuando son capturados por el  
influjo a la celda

**NO** se observa una propagación de la vorticidad de niveles altos hacia SFC





¿Qué desencadena el aumento abrupto de la vorticidad cercana a la superficie?



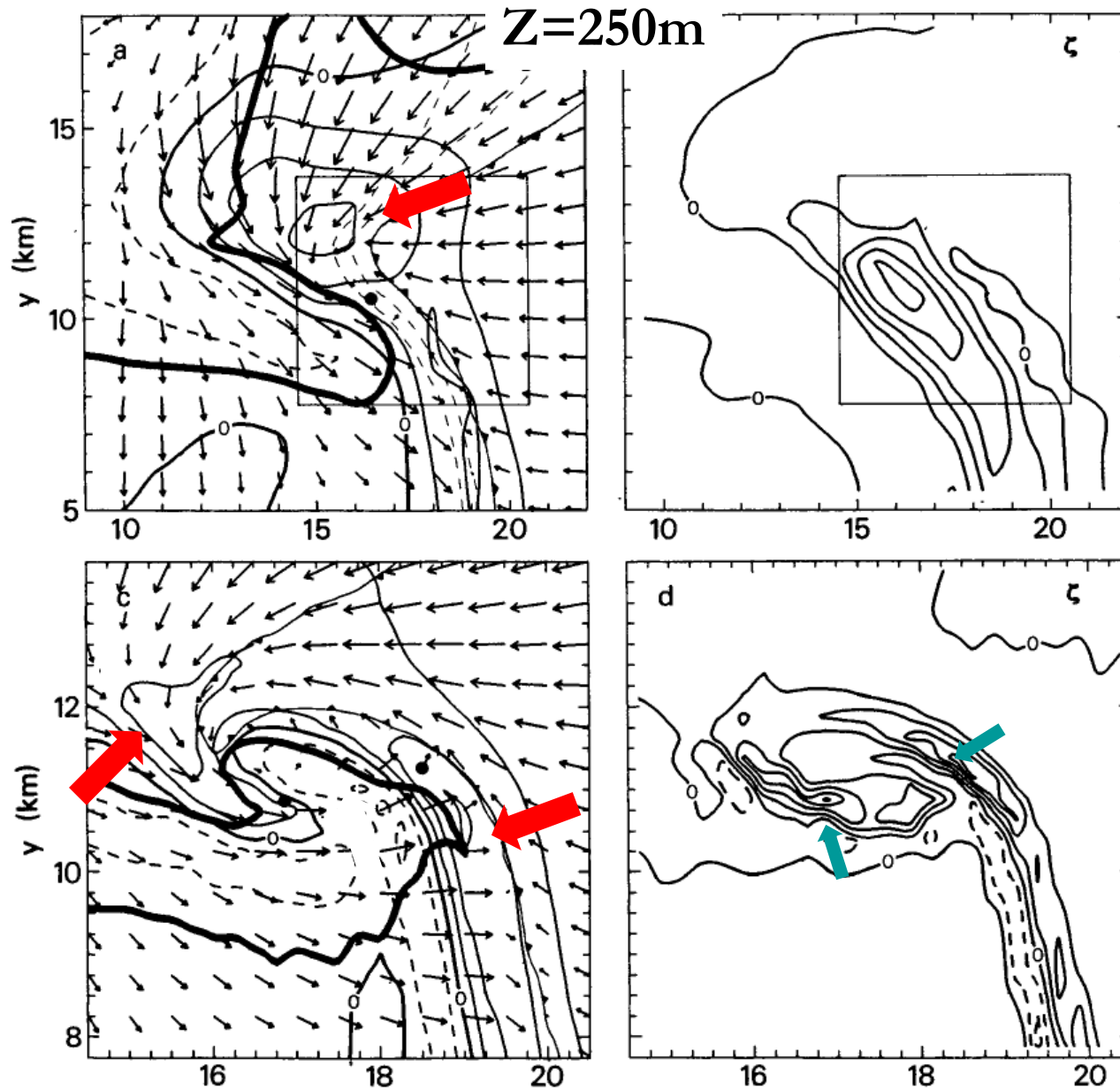


FIG. 7. Cross sections at  $z = 250$  m for (a) flow field from storm-scale simulation at 120 min displayed in the location of the high-resolution simulation as indicated by the box in Fig. 3a; (b) vertical vorticity associated with the flow field in (a) contoured in  $0.005 \text{ s}^{-1}$  intervals; (c) flow field at 6 min in high-resolution simulation displayed in the region indicated by the box in (a); and (d) vertical vorticity at 6 min displayed in the same region as (c) with a  $0.02 \text{ s}^{-1}$  contour interval. In (a), the vertical velocity is contoured in  $1 \text{ m s}^{-1}$  intervals and the heavy solid line represents the  $0.5 \text{ g kg}^{-1}$  rainwater contour. One grid interval represents  $20 \text{ m s}^{-1}$  for the horizontal flow vectors. The  $-1^\circ\text{C}$  perturbation potential temperature is denoted by the cold frontal boundary, while the two thin dashed lines behind this boundary locate the  $-2$  and  $-3^\circ\text{C}$  isotherms. The location of maximum vertical vorticity is marked with a black circle. In

Simulación a los 120'

Simulación a los 120' +6'

Ascendente en dos  
regiones:  
detrás del hook echo  
Sobre el frente de ráfagas  
de la RFD

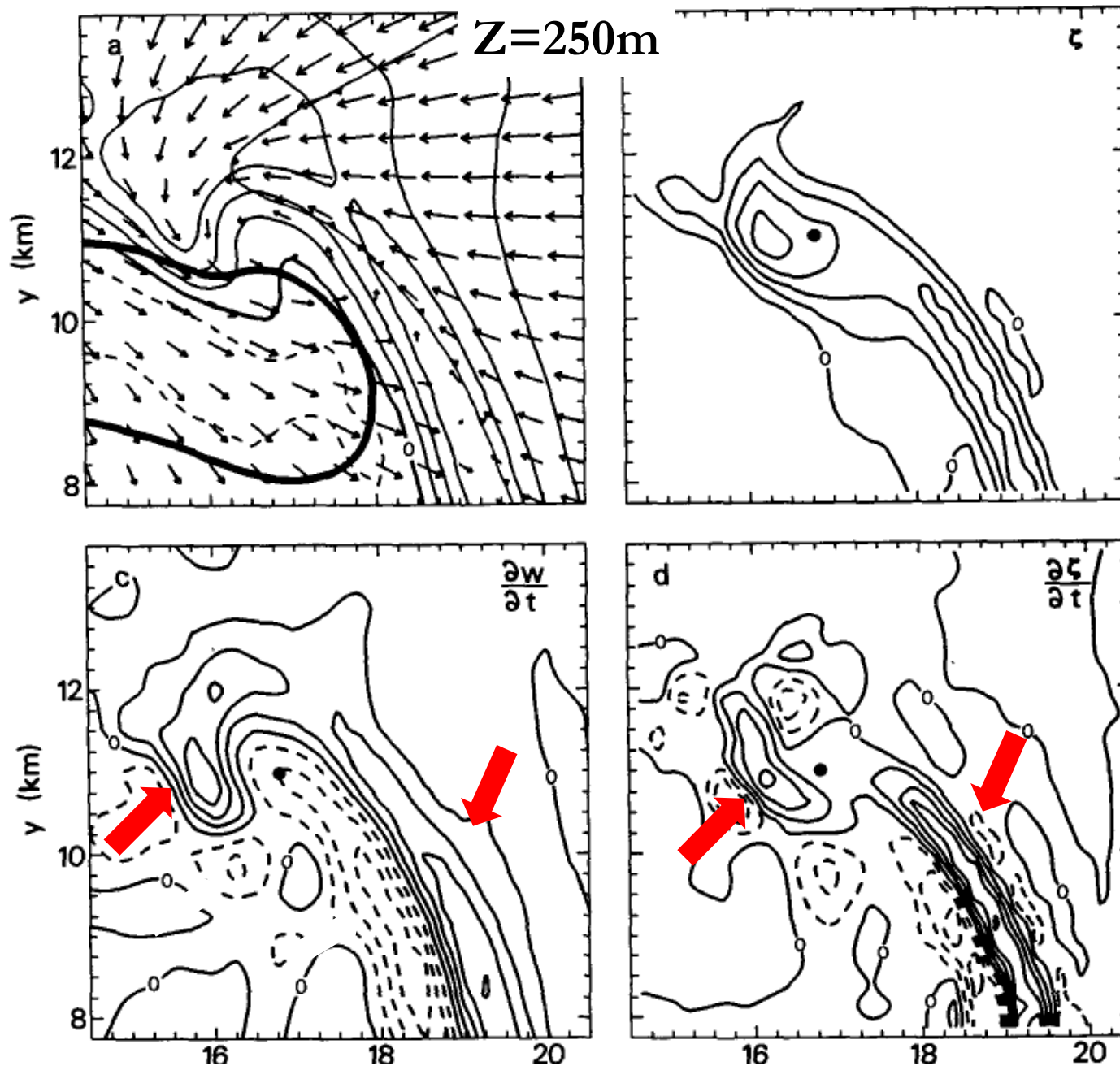
Inicio de la oclusión del  
sistema similar a una  
ciclogénesis

Anillo de vorticidad  
centrado en la oclusión

Importante convergencia  
sobre el frente de ráfagas

El aumento de la resolución permitió.....

- Mientras en la simulación a escala de la tormenta la  $\zeta$  coincidía con el centro de circulación. En la simulación de 250 m de resolución permite observar un anillo de  $\zeta$  ciclónica.
- Se observa la formación de un ciclón en superficie en una fase de oclusión. Este ciclón esta asociado con el posible tornado en SFC
- Formación de  $\zeta$  anticiclónica en el frente de ráfagas y es la zona de posibles tornados anticiclónicos.
- Descenso muy rápido de la  $\zeta$  ciclónica con la altura debido a una fuerte mezcla entre la ascendente y la RFD.



¿Qué desencadena el aumento abrupto de la vorticidad cercana a la superficie?

Simulación a los 120' +2'

FIG. 9. Cross sections at 2 min at  $z = 250$  m for (a) flow field with notations as described in Fig. 7c, except  $w$  is contoured at  $1 \text{ m s}^{-1}$  intervals; (b) vertical vorticity with  $10^{-2} \text{ s}^{-1}$  contour interval; (c) total vertical acceleration with  $10^{-2} \text{ m s}^{-2}$  contour interval; and (d) vertical vorticity tendency with  $10^{-4} \text{ s}^{-2}$  contour interval. The black circles in (b), (c) and (d) denote the location of the circulation center apparent in (a). Displayed fields are storm relative.

$$\frac{d\zeta}{dt} = \omega_H \cdot \nabla_{HW} + \zeta \frac{\partial w}{\partial z}$$

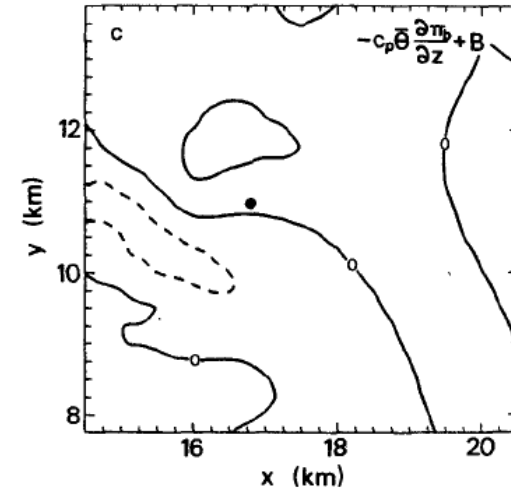
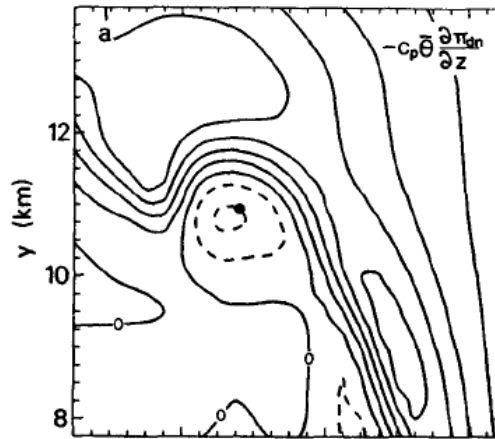
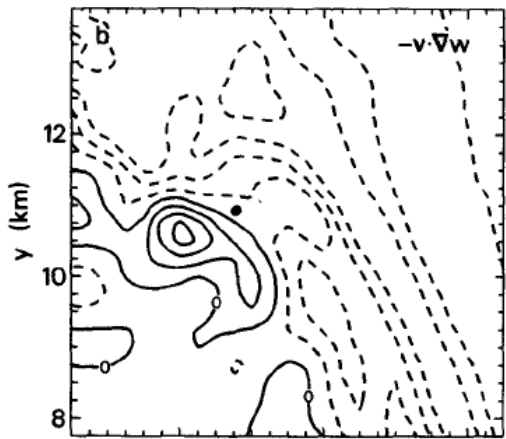


## ¿Cómo se desencadena formación del ciclón intenso en SFC y la oclusión del sistema?

- FFD impulsor de  $\zeta$  vertical a partir del tilting de la  $\zeta$  generada por el gradiente de B. No interviene en la oclusión del ciclón.
- RFD es previa a la generación del frente de ráfagas en SFC, impulsor de la gran convergencia. Una primera evidencia de una descendente en niveles medios se observa en 3.f
- Los autores propone que la fuerte rotación:  
“genera un mínimo de  $\zeta$  en SFC que se traduce en mínimo de presión y esto induce una descendente obligando a desacelerar la ascendente, lo cual induce la oclusión del sistema y la llaman descendente de oclusión”

Z=250m

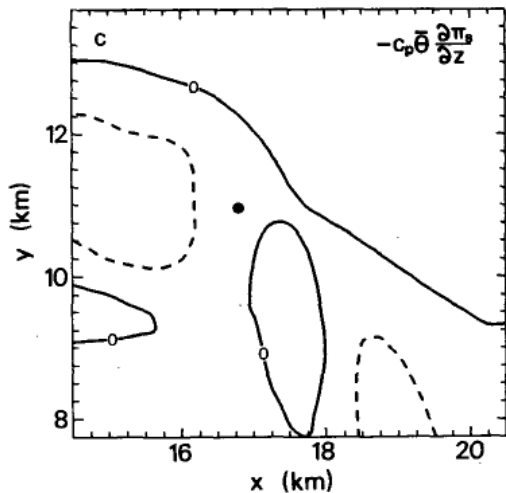
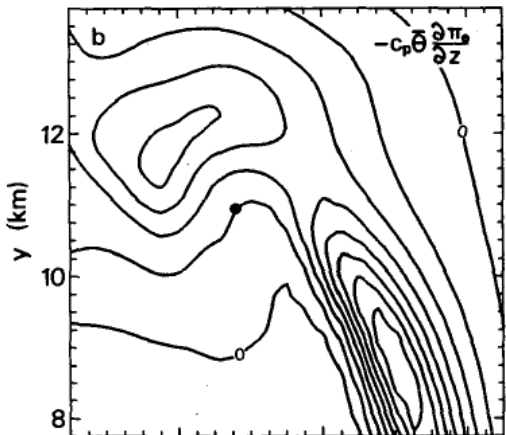
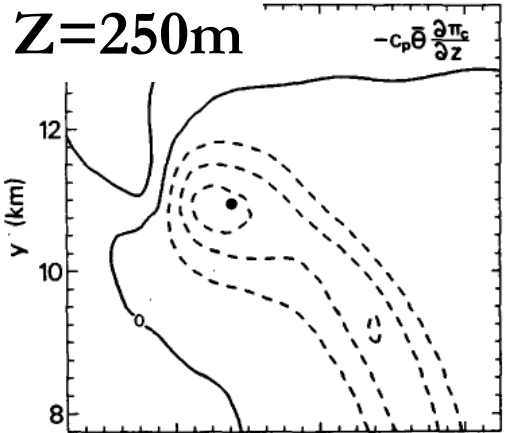
$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla w - c_p \bar{\theta} \frac{\partial \pi_{dn}}{\partial z} - \left( c_p \bar{\theta} \frac{\partial \pi_b}{\partial z} - B \right) + F_w.$$



Es claro que el empuje no aporta en este nivel, ni las presiones por empuje  
 Las advecciones juegan un rol invertido  
 Las presiones dinámicas generan descensos en el corazón de la ascendente

FIG. 12. Cross sections of forcing terms in vertical momentum equation (11) at 2 min at  $z = 250$  m contoured at  $10^{-2} \text{ m s}^{-2}$  intervals: (a) dynamically induced pressure gradient; (b) advection terms; and (c) buoyancy induced pressure gradient. The black circle again locates the circulation center.





$$-\nabla \cdot (\bar{\rho} \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v}) = -\bar{\rho} \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 - \frac{d^2 \ln \bar{\rho}}{dz^2} w^2 \right] \quad (12a)$$

$$-2\bar{\rho} \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial y} \quad (12b)$$

$$-2\bar{\rho} \left( \frac{\partial u}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} \frac{\partial w}{\partial y} \right), \quad (12c)$$

Los términos son proporcionales a aceleraciones verticales:

- ➔ el término de extensión por convergencia favorece fuertemente a la ascendente en el frente de ráfagas
- ➔ el término de cortante horizontal del viento asociado a la  $\zeta$  vertical<sup>2</sup> (en el caso de una rotación pura) inicia el descenso en el área de máxima circulación

FIG. 13. As in Fig. 12, for individual components of the dynamically induced pressure gradient as decomposed in Eq. (14) into contributions from (a) horizontal curvature terms, (b) fluid extension terms and (c) vertical shear terms.



Horseshoe-shaped updraft

Cascada de hidrometeoros



**Procesos Involucrados**

# Arqueo de la vorticidad

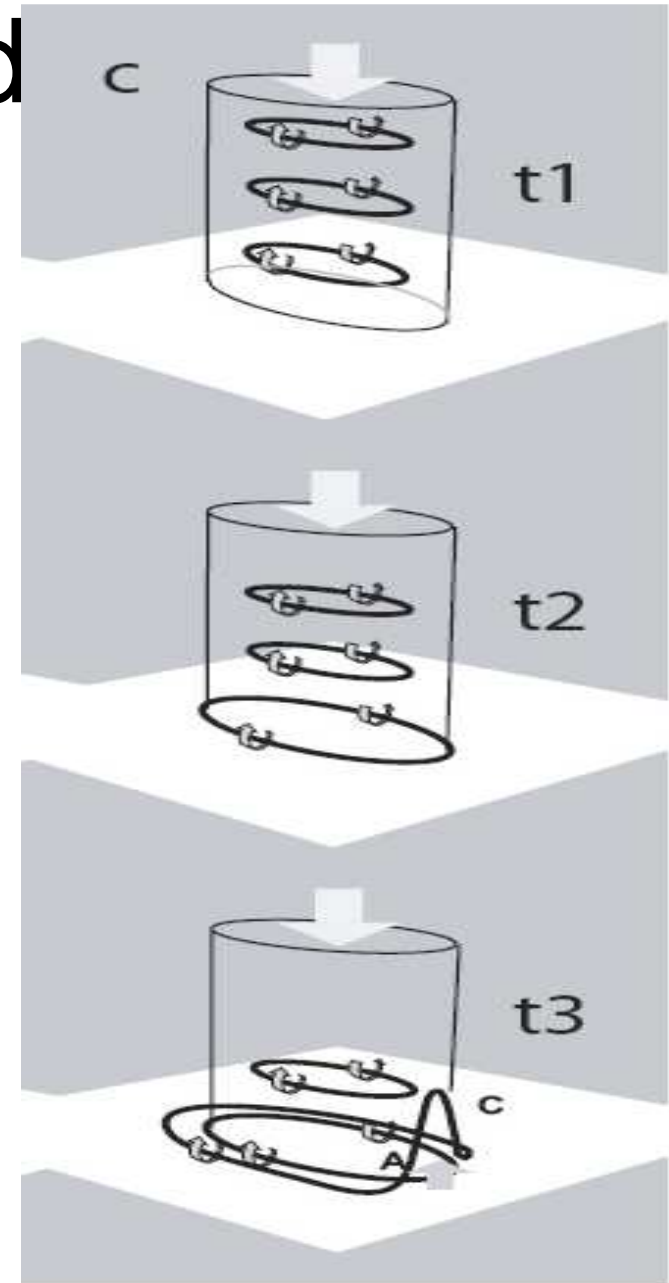
Anillos de vorticidad generados alrededor de la descendente de oclusión generados por baroclinicidad



Llegan a SFC y se expanden



Son alcanzados en la fuerte ascendente y son elevados por tilting



Straka et al. 2007 Electronic Journal of Severe Storms Meteorology, Vol 2. (EJSSM.org)



Mesocyclone

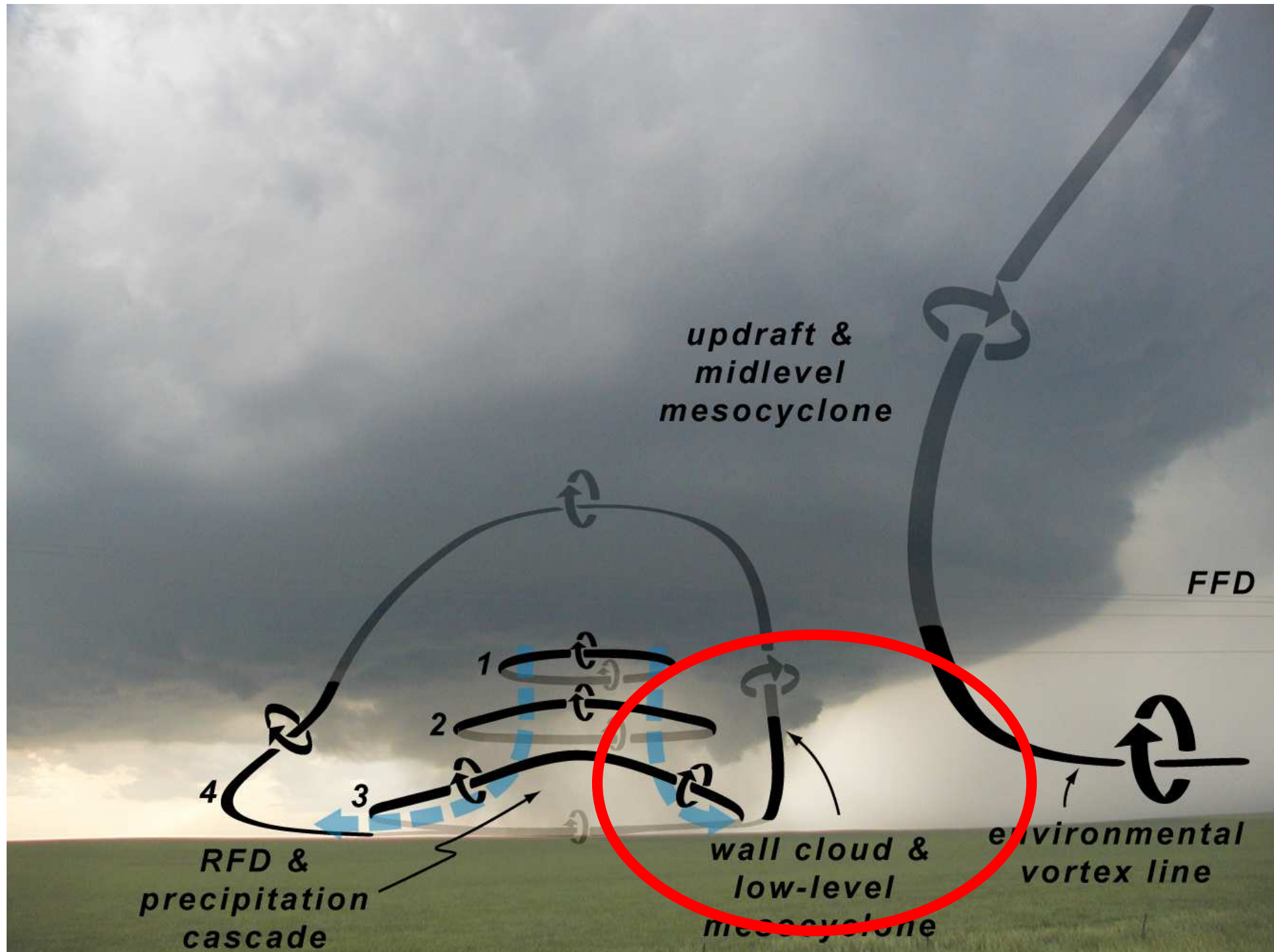


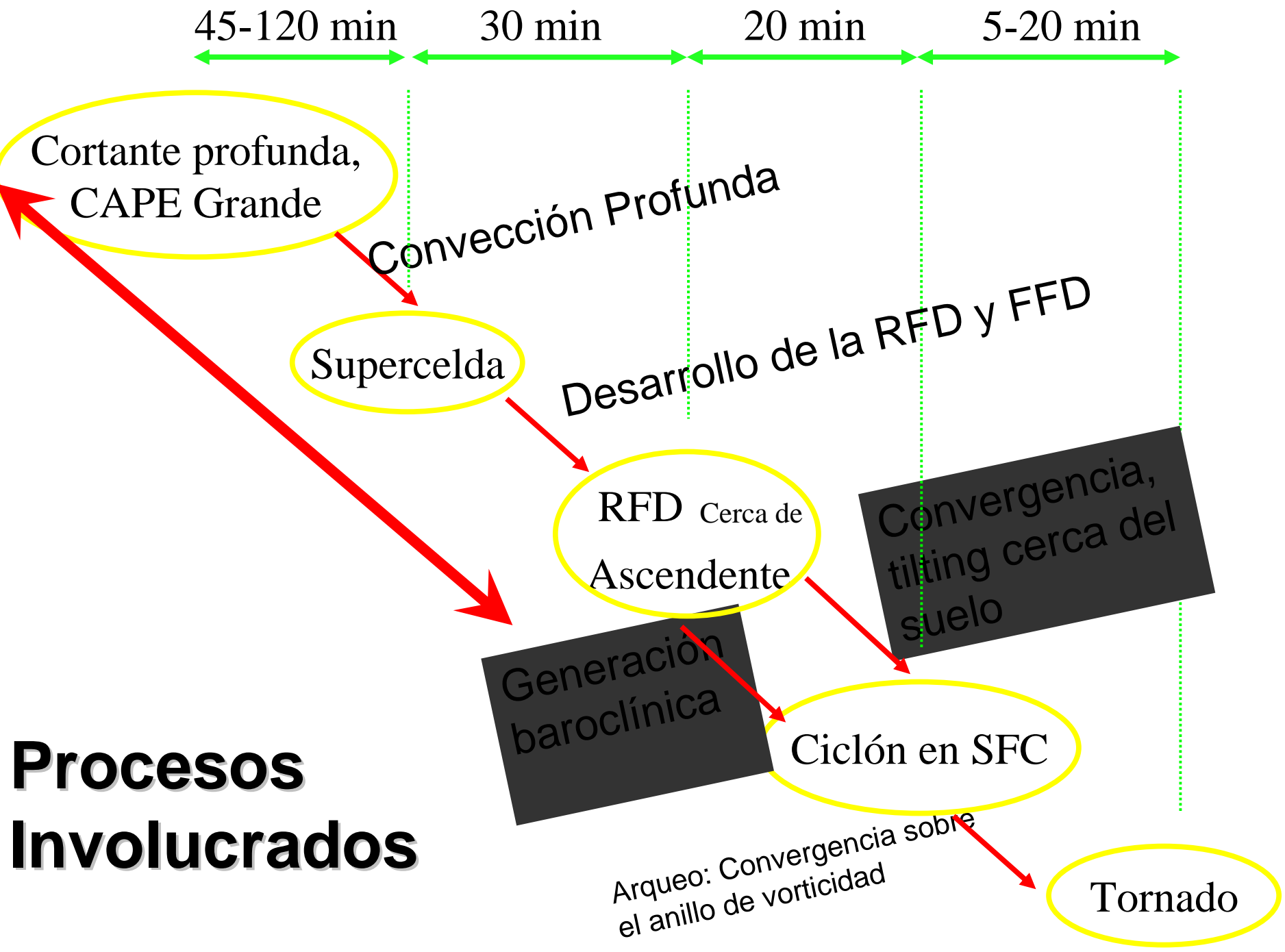


Meso-anticyclone









# Procesos Involucrados

- La mayoría de las superceldas pueden ser tornádicas, siempre y cuando no exista algún proceso que **interrumpa** la cadena de eventos que disparan la formación del tornado cercano a superficie.

## Por lo tanto.....

Una supercelda típica necesita de 1 a 3 horas hasta llegar a producir los procesos generadores del tornado pero existen mecanismos que interrumpen estos procesos

## El pronóstico debe centrarse en poder generar avisos sobre el tipo de convección que se va a desarrollar .....

....con un pronóstico de superceldas .....

..... luego enfatizar en los mecanismos que pueden interferir en la interrupción de los mecanismos generadores de tornados,

## y no solamente en...

Identificar los entornos asociados a superceldas tornádicas.  
Problema mas grave: es que aún no se conocen TODOS los mecanismos que ON-OFF la formación del tornado

### Tornado/No-Tornado Environments (All Cases 1972-1999)

