

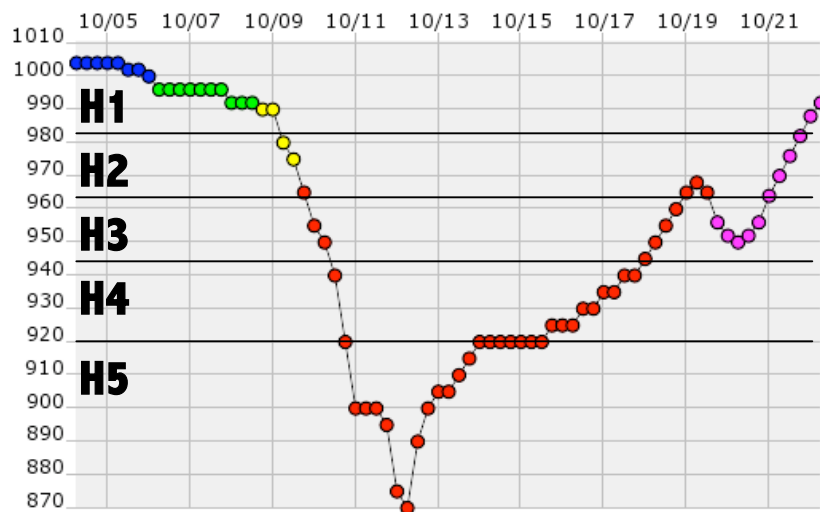
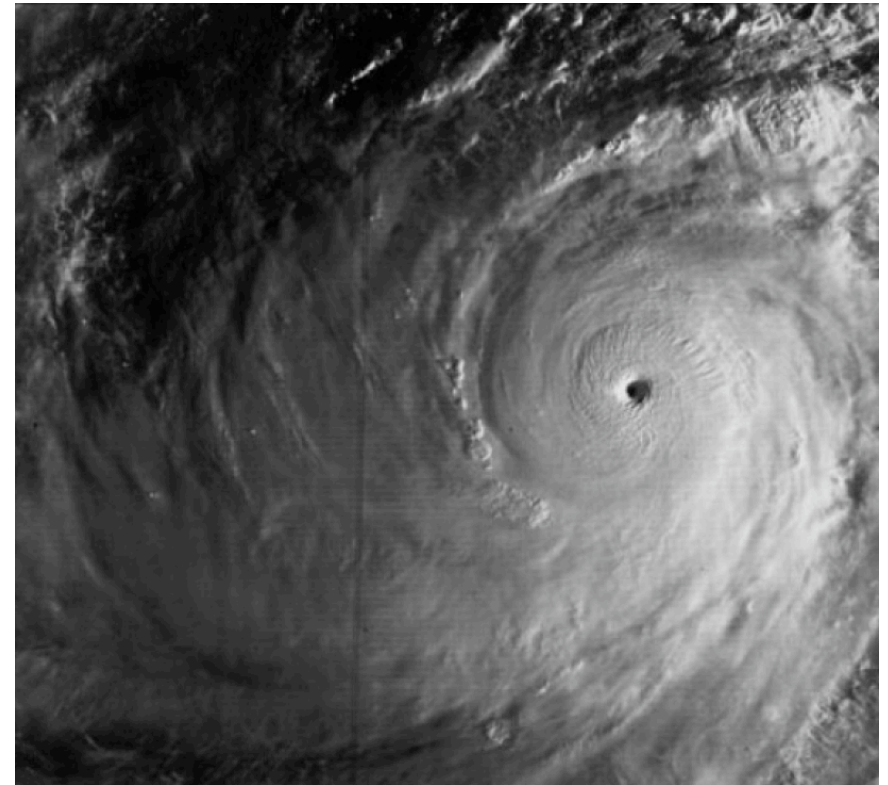
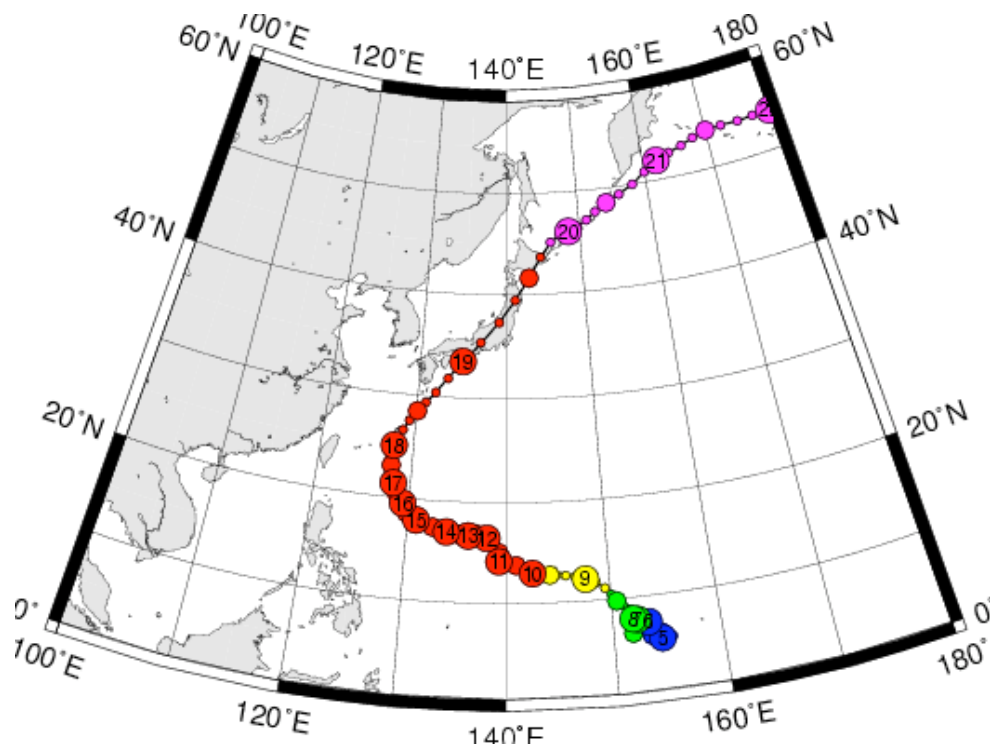
Intensificación de Ciclones Tropicales

**Un problema multifacético
en espera de avances**

Sergio Abarca

Marzo, 2009

Acapulco, Guerrero, México

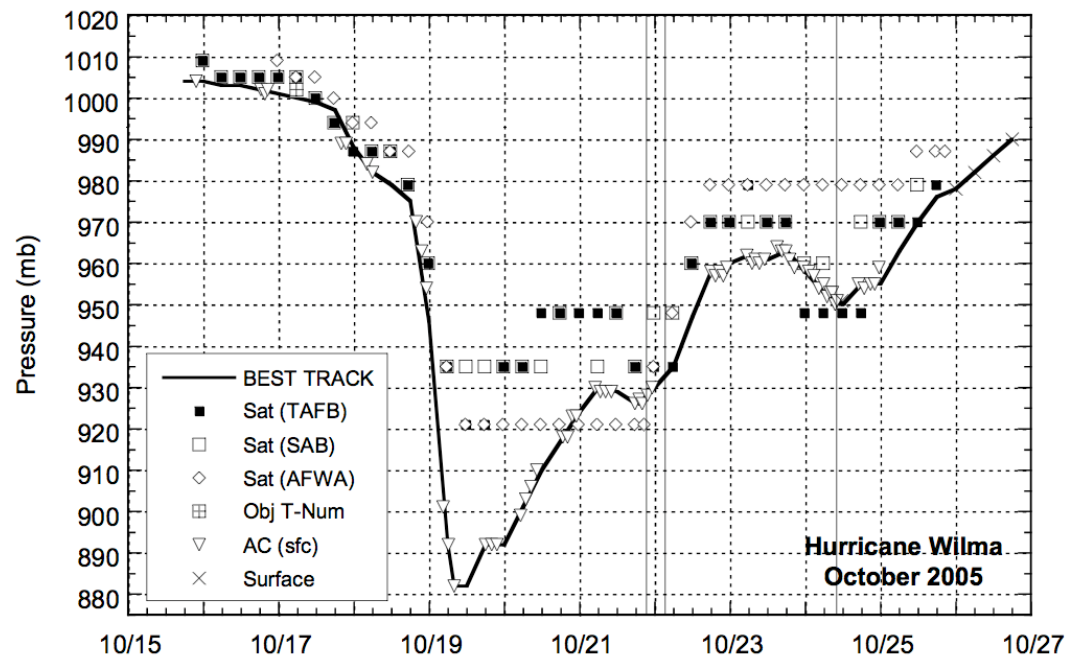
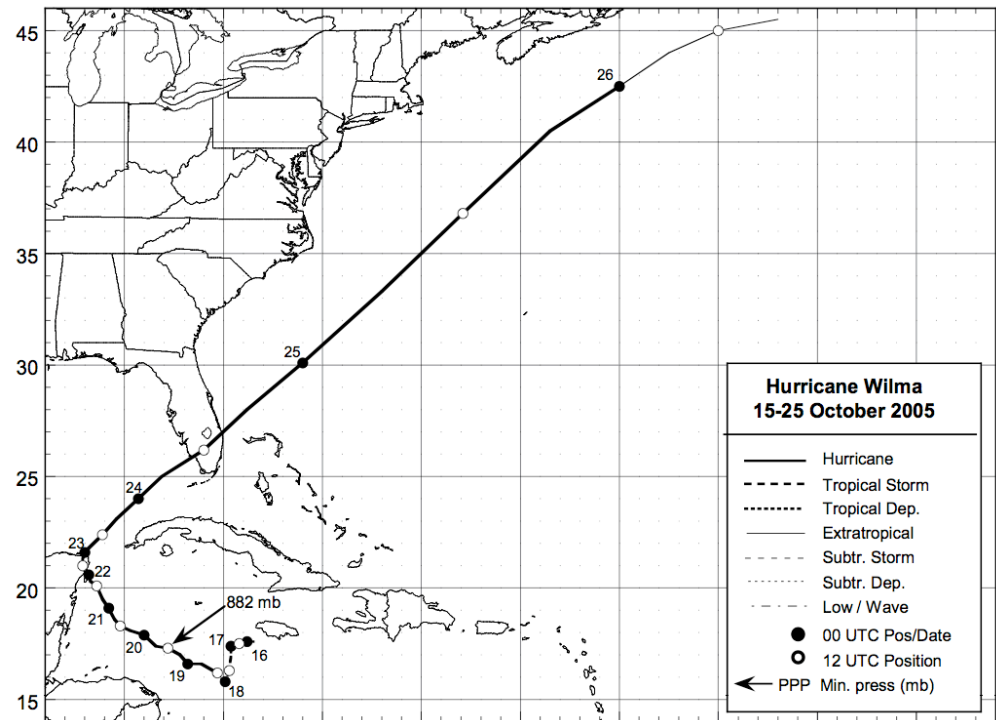
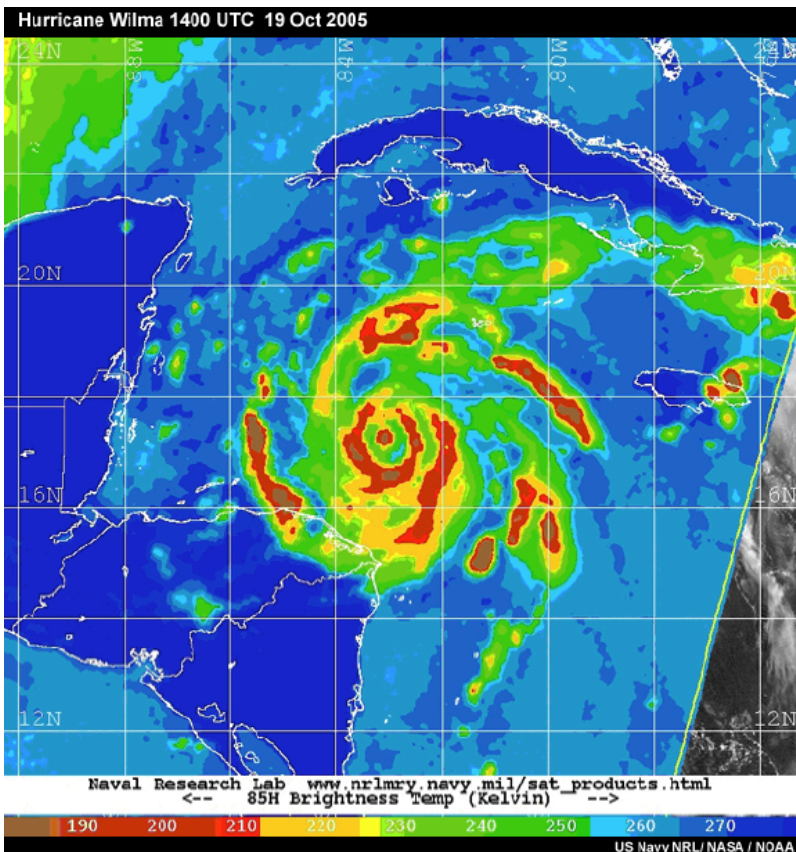


Tip, 1979

- CT más intenso
- Octubre, 1979
- 880 hPa, H5-50hPa!
rango H4, ~24hPa
H3, ~20Hpa
- $V_{max}=305 \text{ Km h}^{-1}$ (85 m s^{-1})

Wilma, 2005

- CT más intenso en el Hemisferio Oeste
- 882 hPa (6hPa menos que Gilbert 1988)
- Intensificación sin precedente 10hPa h^{-1}
- Diámetro del ojo 3.7 km, record
- 22 personas murieron, 4 en México



Guía

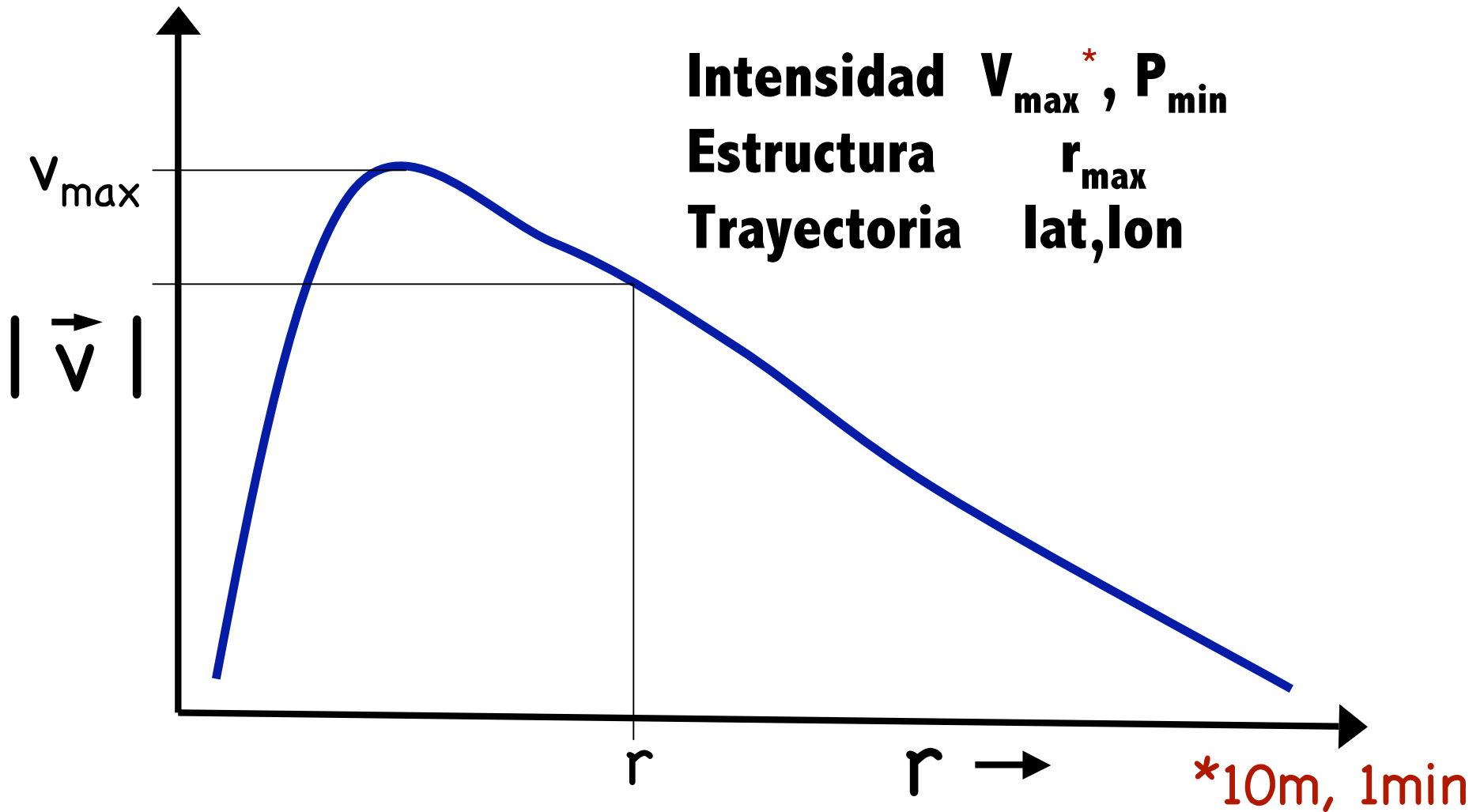
- 1. ¿Qué es la intensidad de CT (IntCT)?**
- 2. ¿Cómo se estima?**
- 3. Climatología de IntCT**
- 4. ¿Cómo se pronostica (IntCT)?**
- 5. ¿Qué tan buenos son los pronósticos?**
- 6. Teorías de CT: CLSK y WISHE, sus limitaciones**
- 7. ¿Qué aspectos considera la investigación contemporánea?**
- 8. Formación de paredes concéntricas**

Intensidad →

**medida de la
Energía Cinética**



$\propto m, v$

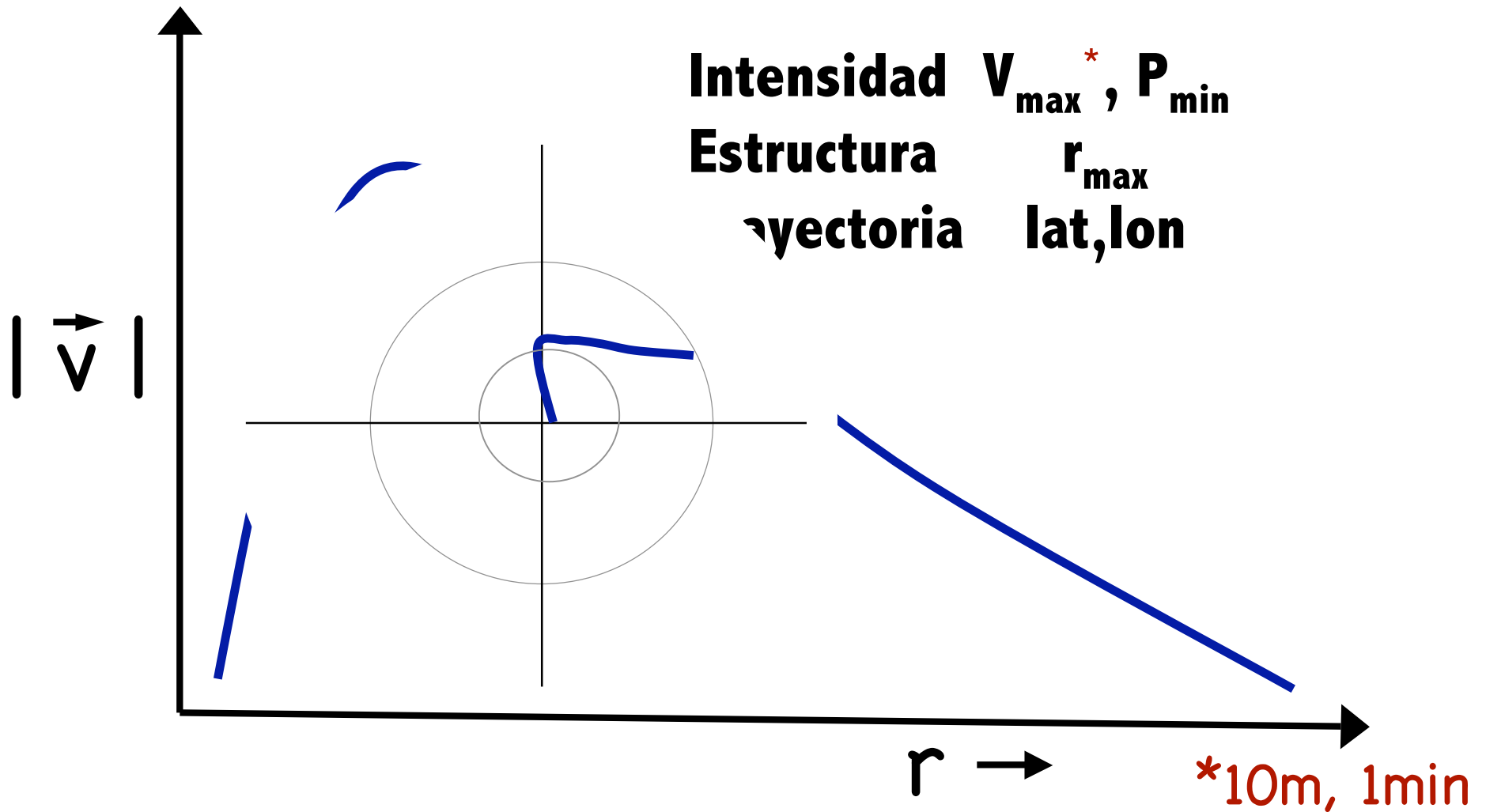


Intensidad →

**medida de la
Energía Cinética**



$\propto m, v$



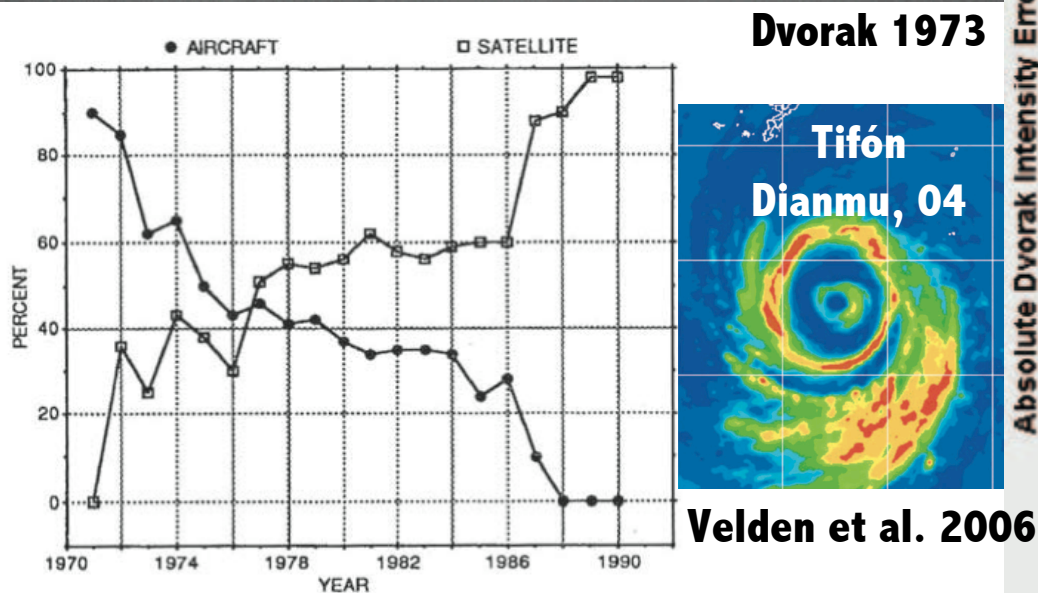
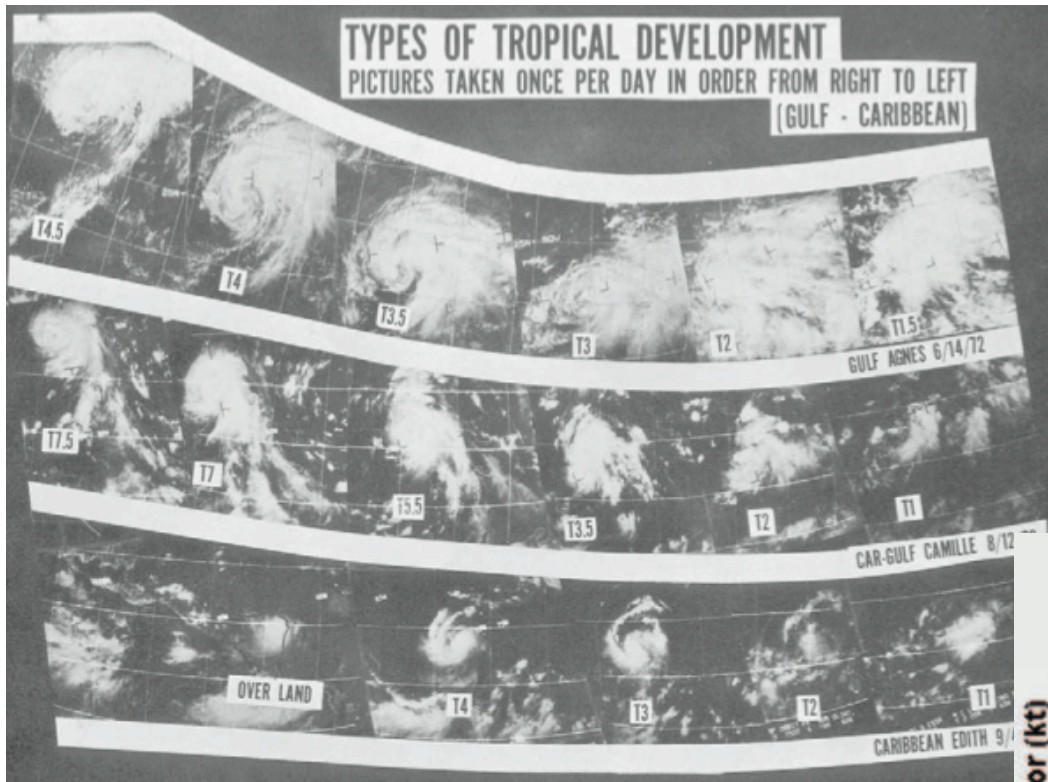
Escala Saffir-Simpson

Categoría	Viento (Km/hr)	Mayores daños
1	119-153	Árboles, arbustos y señales de tránsito.
2	154-177	Puertas y ventanas, árboles pueden ser arrancados del suelo, muelles,
3	178-209	Pequeñas estructuras, numerosos objetos volando, árboles son derribados
4	210-249	Estructurales a pequeñas residencias destruidas, ventanas y puertas destruidas
5	>249	Estructuras mayores (edificios industriales), mayoría de los árboles y arbustos derribados

Basado en: <http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshs.shtml>

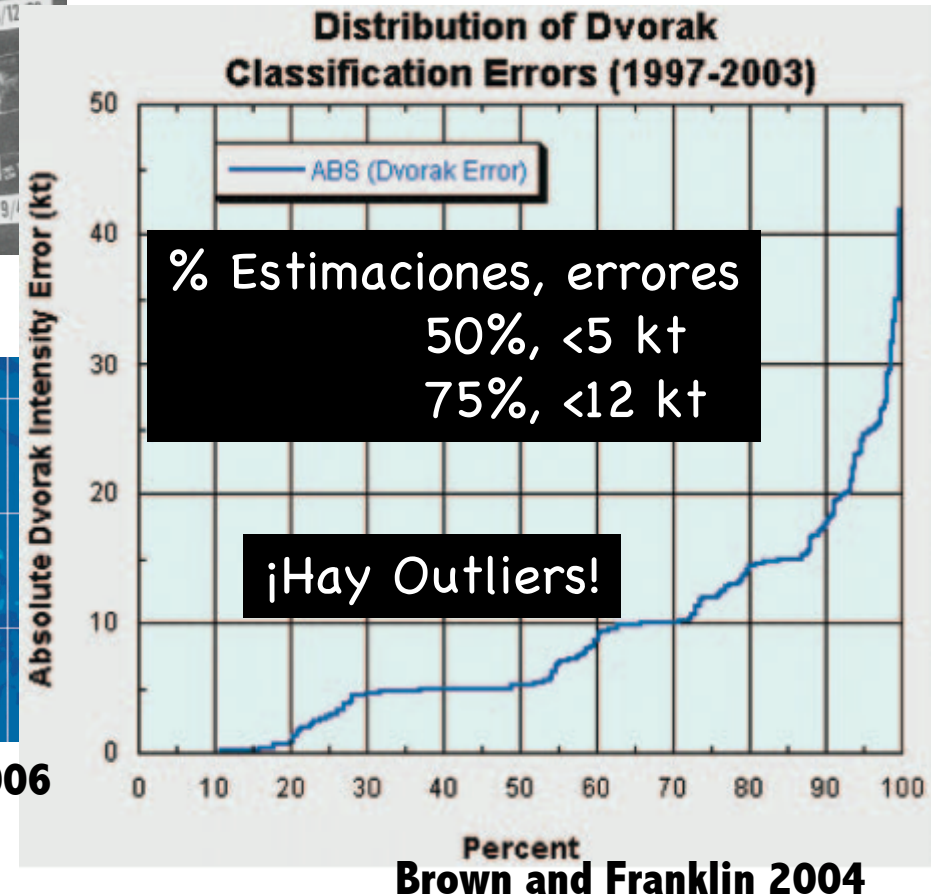
Técnica de Dvorak

Velden et al. 2006



Velden et al. 2006

Guard et al. 1992



Brown and Franklin 2004

Recursos en línea de la técnica de Dvorak

- **Tutorial, University of Wisconsin**

- <http://cimss.ssec.wisc.edu/tropic2/misc/adt/info.html>

- **NOAA, carta de intensidad:**

- <http://www.ssd.noaa.gov/PS/TROP/CI-chart.html>

- **AMS, La técnica a través del tiempo, Jack Beven (NHC), 2004**

- <https://confex.webex.com/cmp0305l/webcomponents/docshow/docshow.do?isPluginInstalled=yes&siteurl=confex&rnd=0.03242080379277468>



1945.- Primer vuelo intencional en un CT

1982.- Experimento “Flujo Sinóptico”

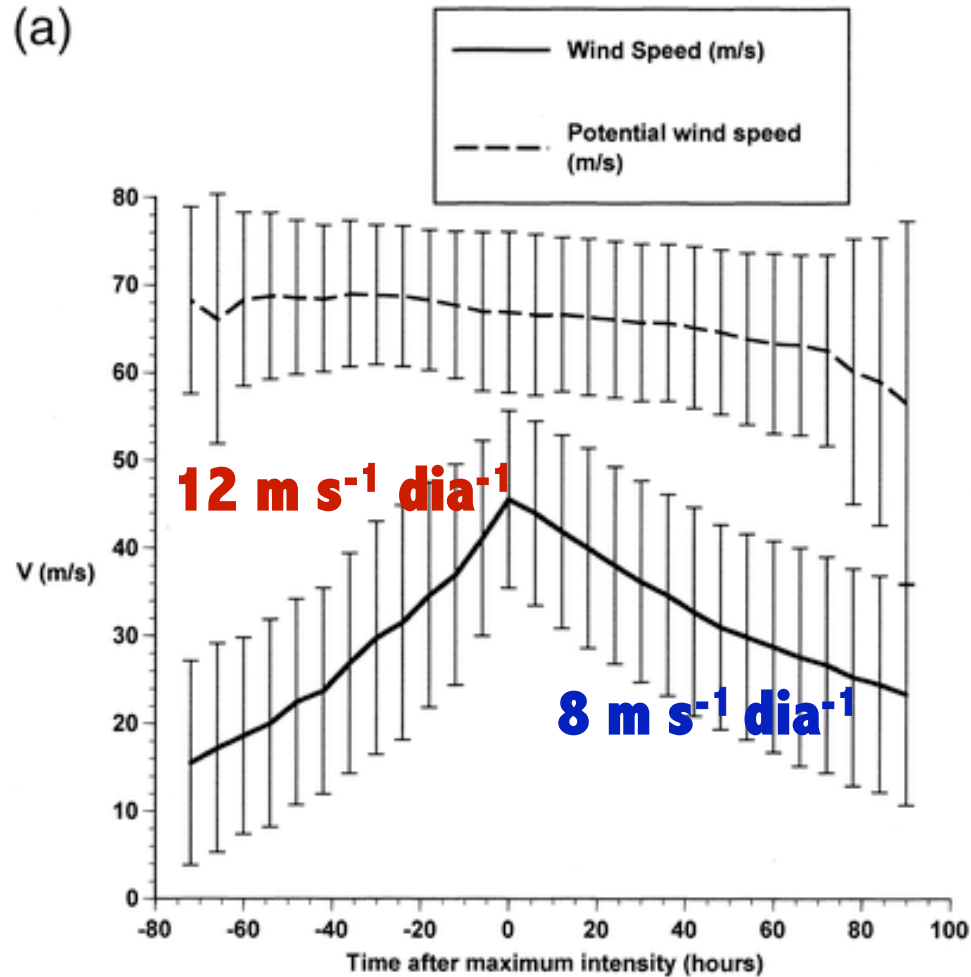


1997.- Comienza el monitoreo sinóptico operativo

*** Boyas, barcos, radares, etc.**



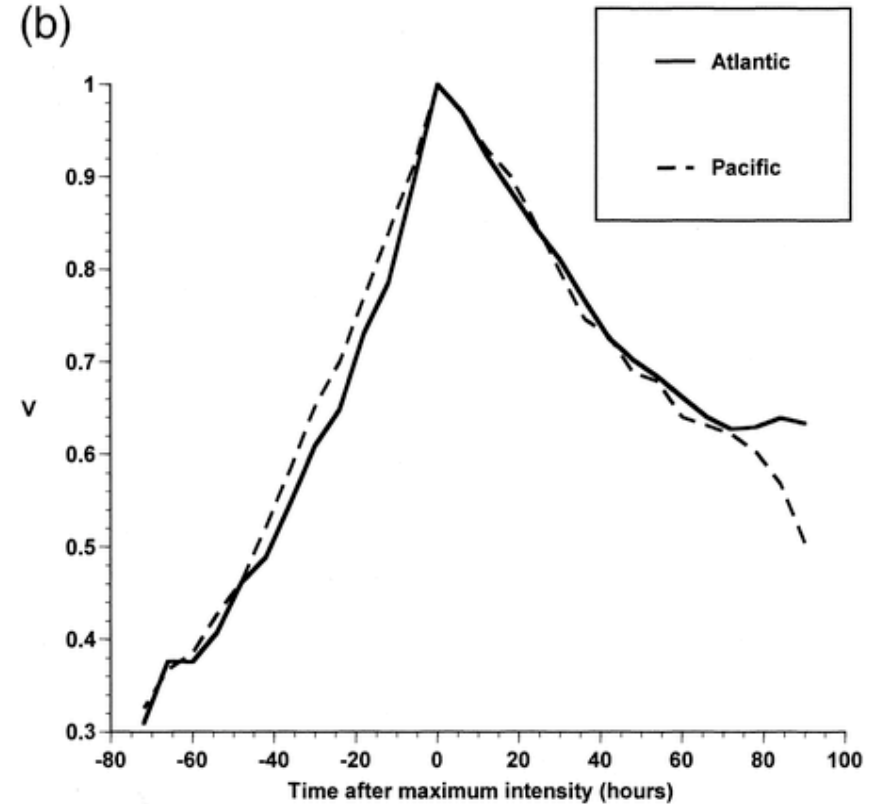
(a)



Best track

Climatología de la intensificación de CT

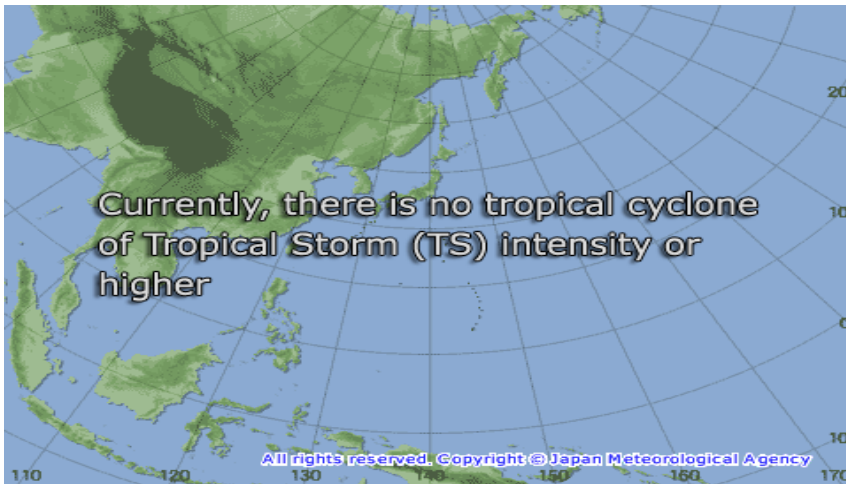
(b)



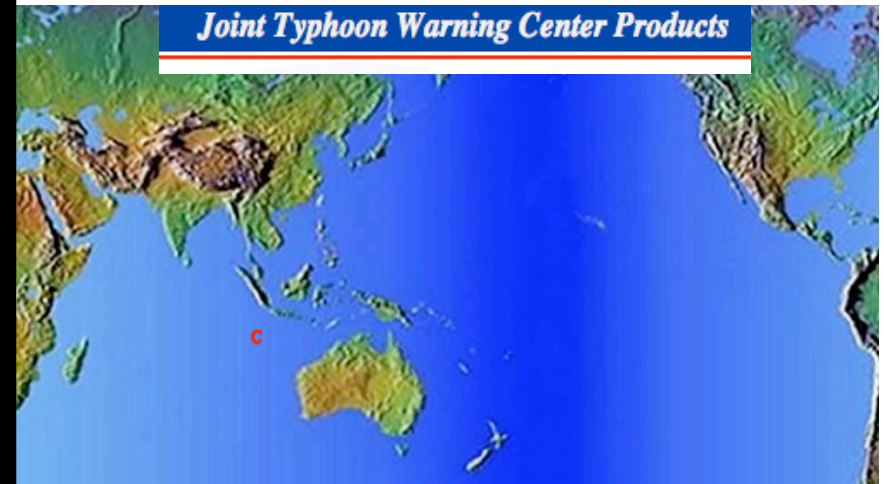
Emanuel (2000)

Pacífico del Oeste

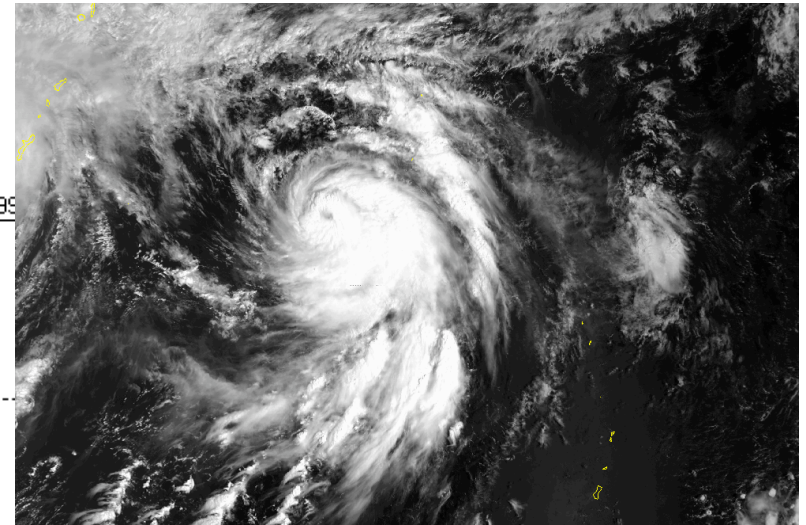
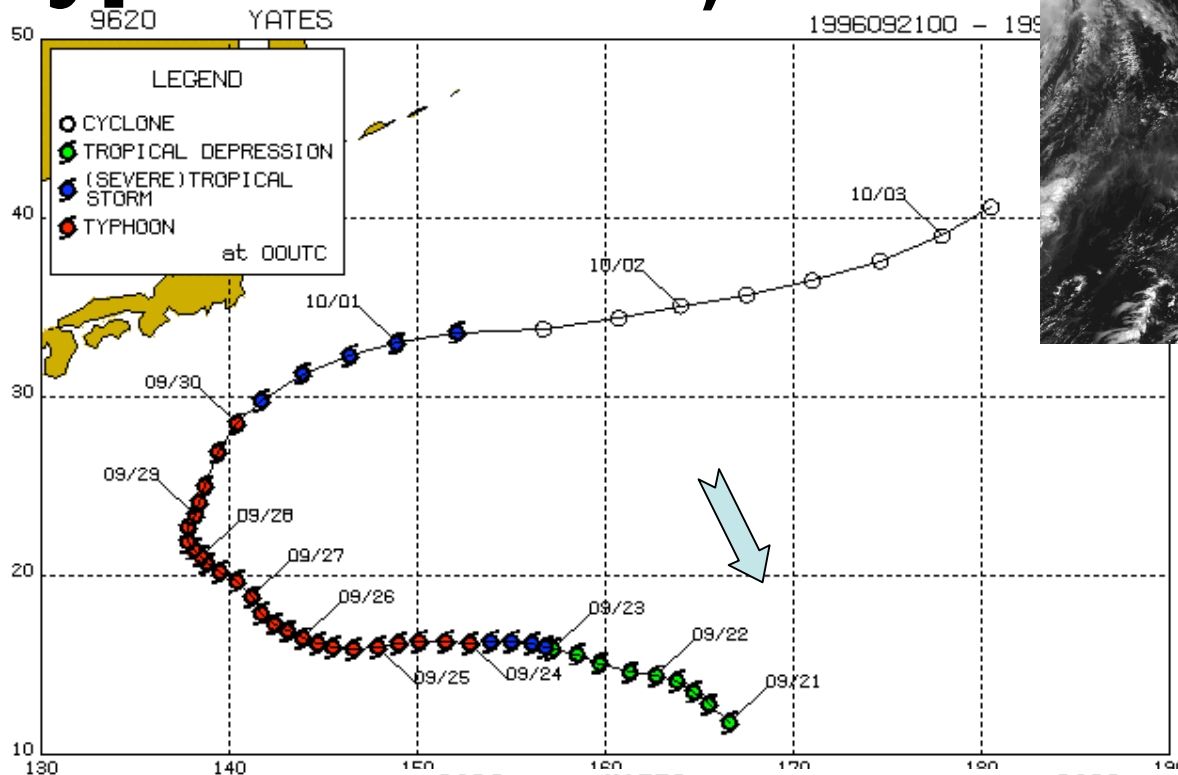
2 agencias oficiales
elaboran pronóstico
independientemente



Vs



Typhoon Yates, 96



9620 YATES				9628				1248
96092100	118	1666	0	1008	96092100	106	1642	25
96092106	128	1655	0	1006	96092106	112	1635	25
96092112	135	1647	0	1006	96092112	119	1630	25
96092118	141	1638	0	1006	96092118	126	1624	25
96092200	144	1627	0	1006	96092200	134	1618	25
96092206	146	1613	0	1006	96092206	143	1609	25
96092212	151	1597	0	1004	96092212	151	1598	30
96092218	156	1585	0	1004	96092218	155	1586	35
96092300	159	1572	0	1000	96092300	159	1573	55
96092306	162	1561	40	994	96092306	162	1561	80
96092312	163	1550	50	985	96092312	164	1549	115
96092318	163	1539	60	970	96092318	164	1538	115

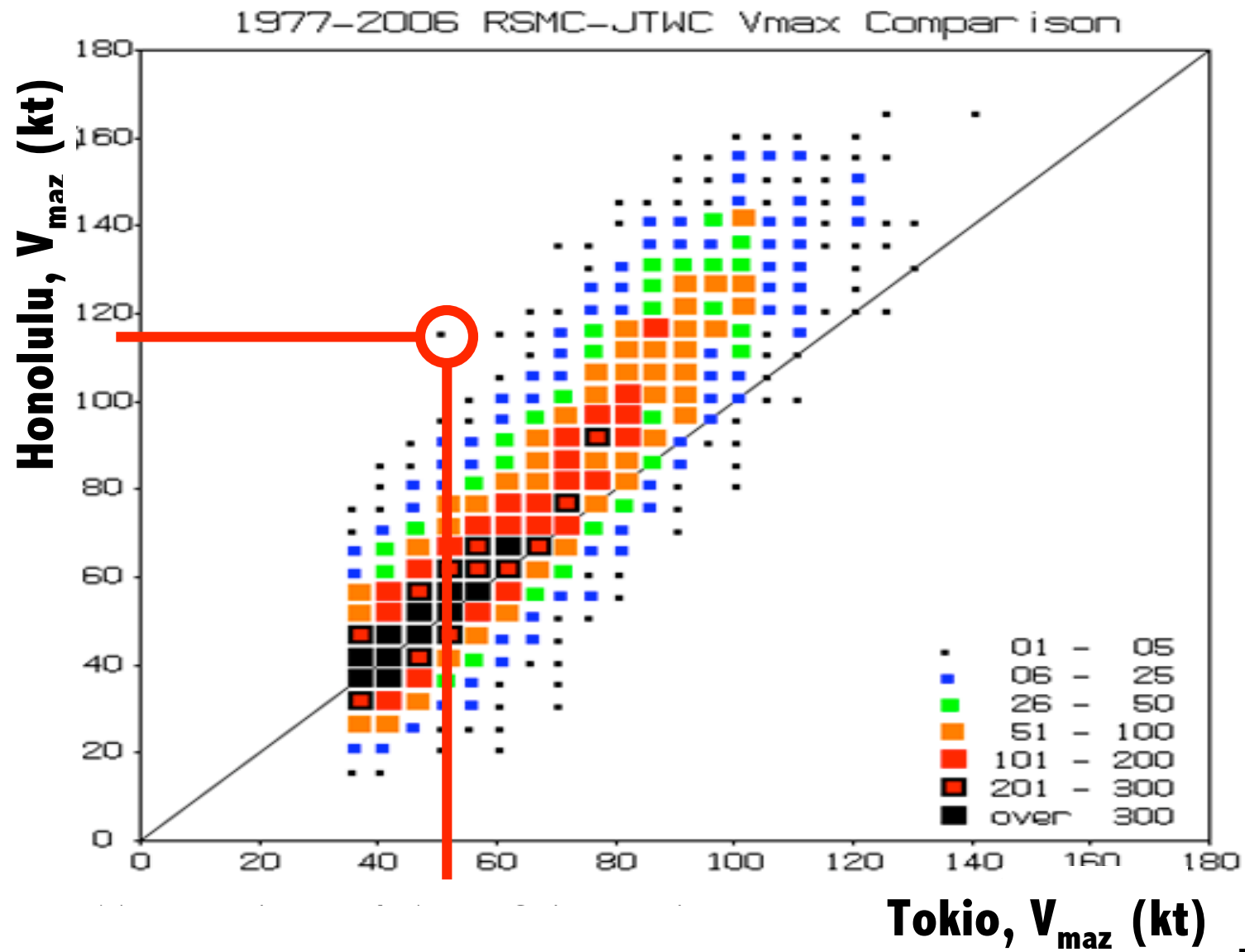
TS

CAT. 3 Hurr



Kwon, 2008

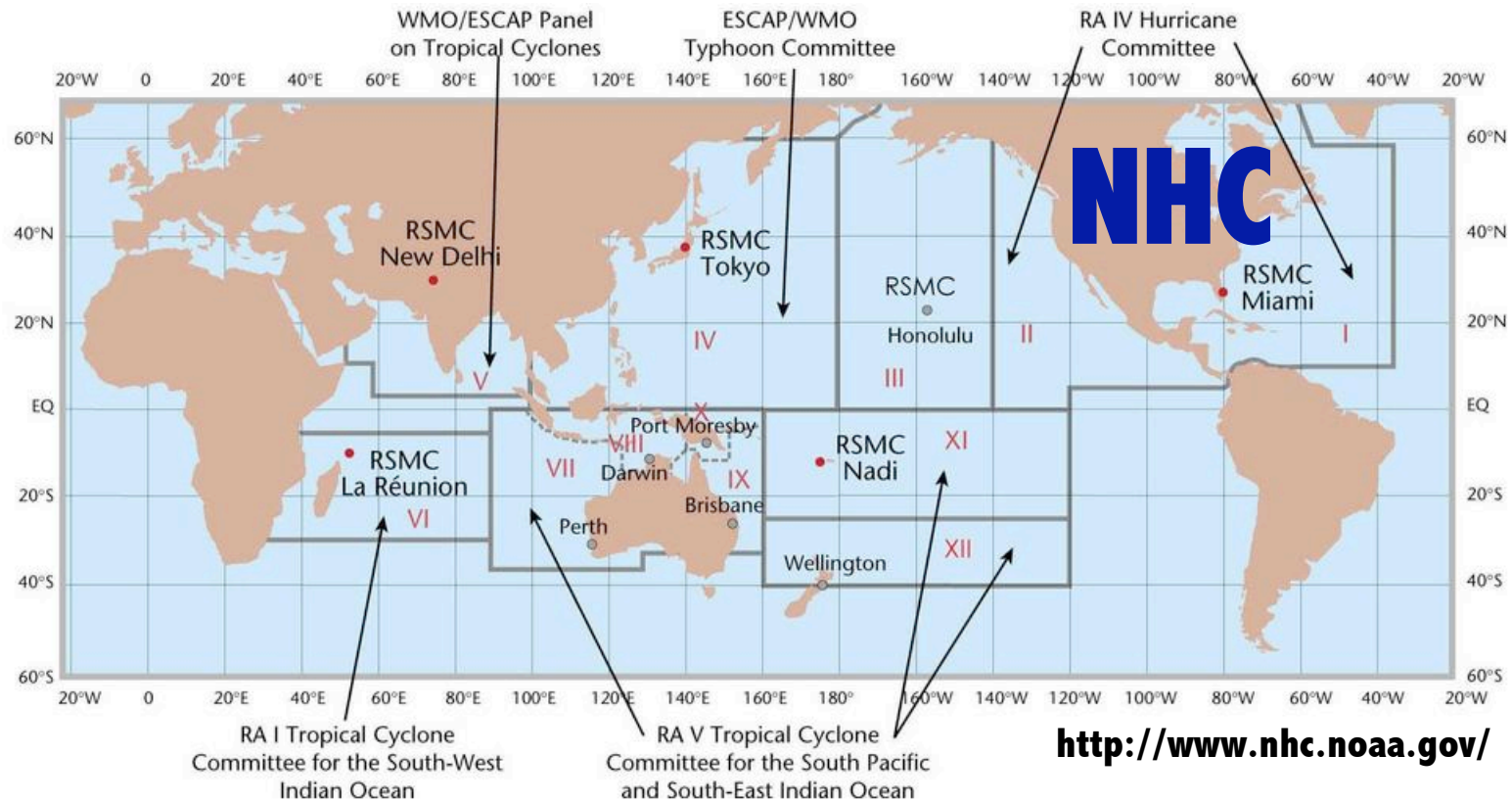
RSMC Vs JTWC



Kwon, 2008

Conclusiones 1

- **La intensidad es un parámetro con valor práctico pero sin base física**
- **Se determina por medio de una estimación, no una medición**
- **Su estimación está sujeta a subjetividad**



0000 UTC

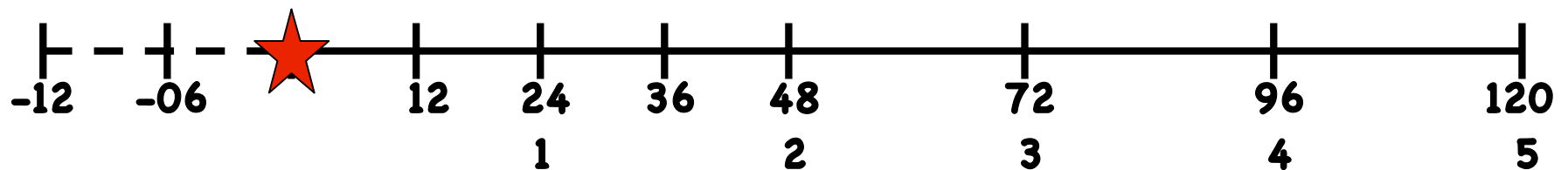
0600 UTC

1200 UTC

1800 UTC

Modelos
Guía
Early / Late

Dinámicos
Estadísticos
Estatístico-dinámicos
Consenso



Modelos estadísticos: ¡mejores que los dinámicos!

~1980

Los modelos estadístico/dinámicos son los más confiables

~1990

**Los modelos dinámicos se convierten en los más confiables
prediciendo trayectorias**

Hoy

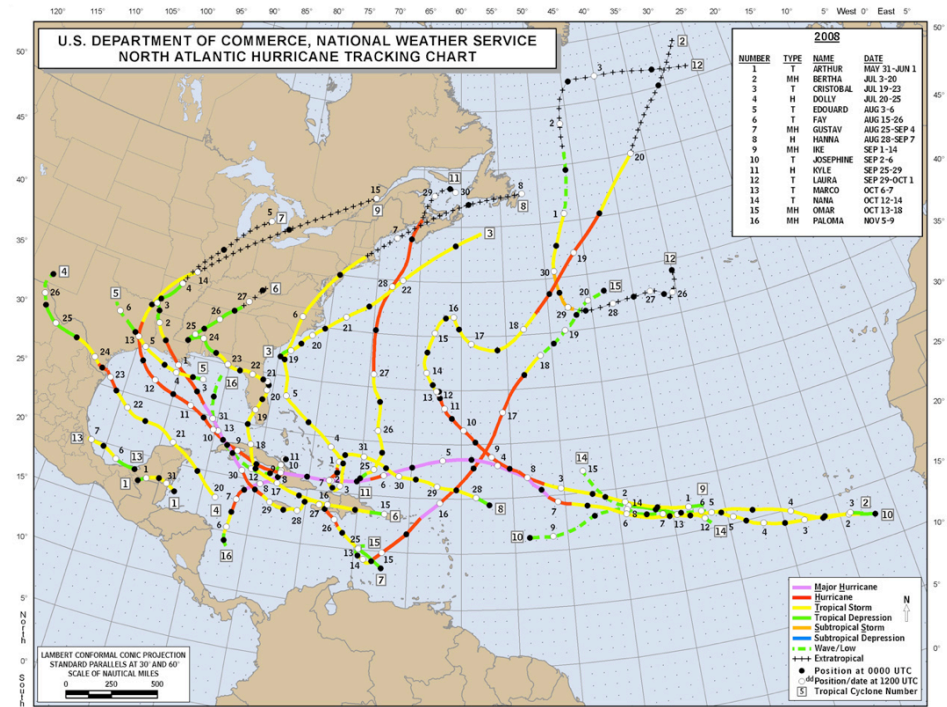
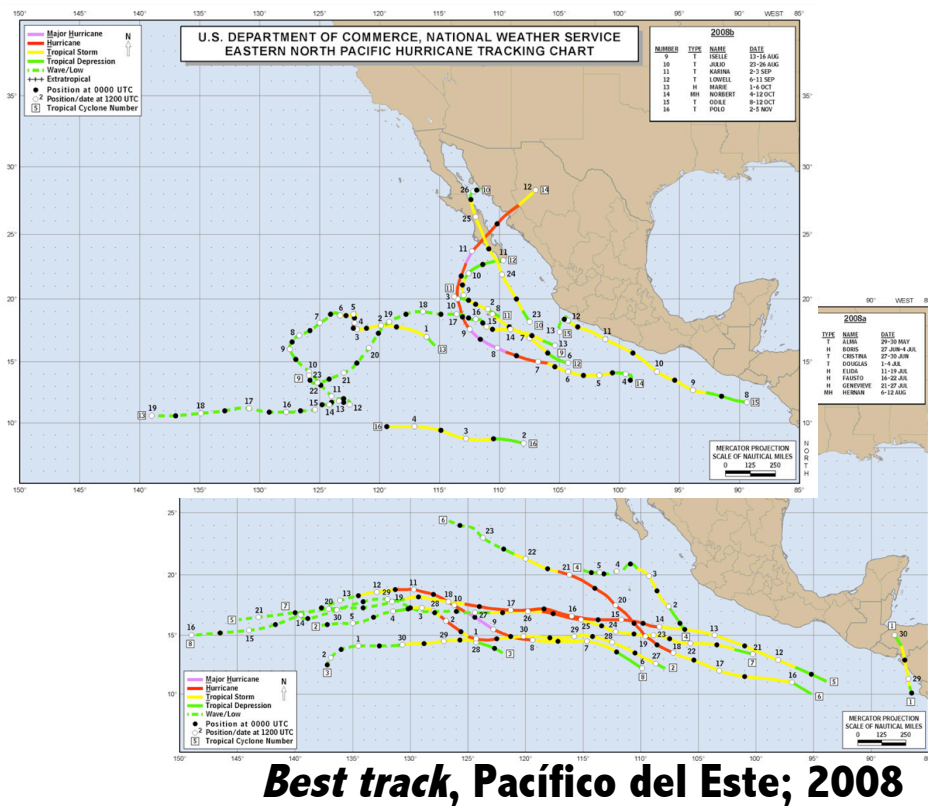
**¡Los modelos estadístico/dinámicos siguen siendo los más confiables
en el pronóstico de intensidad!**

Modelos Dinámicos

Modelo	Sitio web	Ecuaciones	$\sim \Delta x$ km, # niveles	Océano
GFS		Hidrostático	Espectral, 35 km, 64	-
LBAR		Aguas someras (sólo trayectoria)		-
CMC	http://www.smc- msc.ec.gc.ca/cmc/op_system s/recent_e.html	Hidrostático	Espectral, 33 km, 58	-
ECMWF	http://www.ecmwf.int/product s/forecasts/guide/	Hidrostático	Espectral, 25 km, 91	-
NOGAPS	http://www.meted.ucar.edu/n wp/pcu2/nogaps/index.htm	Hidrostático	Espectral, 55 km, 30	
UKMET	http://www.metoffice.gov.uk/r esearch/nwp/	No-Hidrostático	40 km, 50	
GFDL	http://www.gfdl.noaa.gov/res earch/weather/hurricane.html	Hidrostático	30, 15 y 7.5 km; 42	Princeton Ocean Model (POM) (alta res)
HWRF 2007	http://www.emc.ncep.noaa.go v/HWRF/index.html	No-Hidrostático	27, 9 km; 42	POM

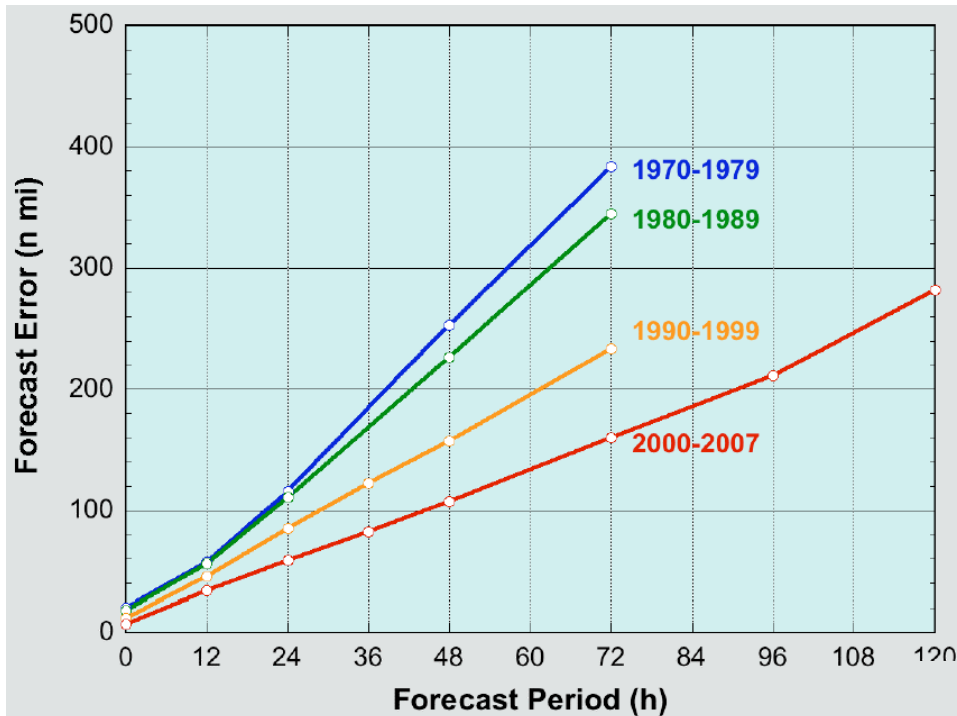
Evaluación del pronóstico

Diferencia entre el valor del pronóstico y el corroborado por los datos del “Best track” al momento de realizar la evaluación



Best track, Atlántico; 2008

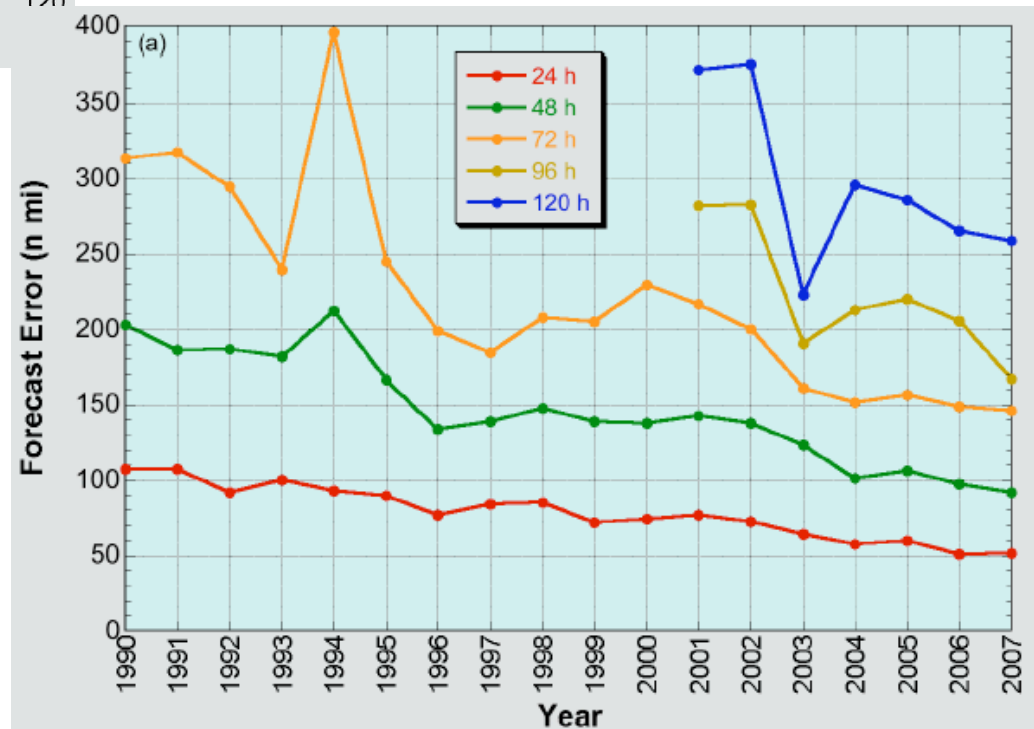
- **Error de trayectoria**
 - Distancia entre los centros de los CT
- **Error de intensidad**
 - Valor absoluto de la diferencia entre las velocidades máximas



Década tras década Año tras año

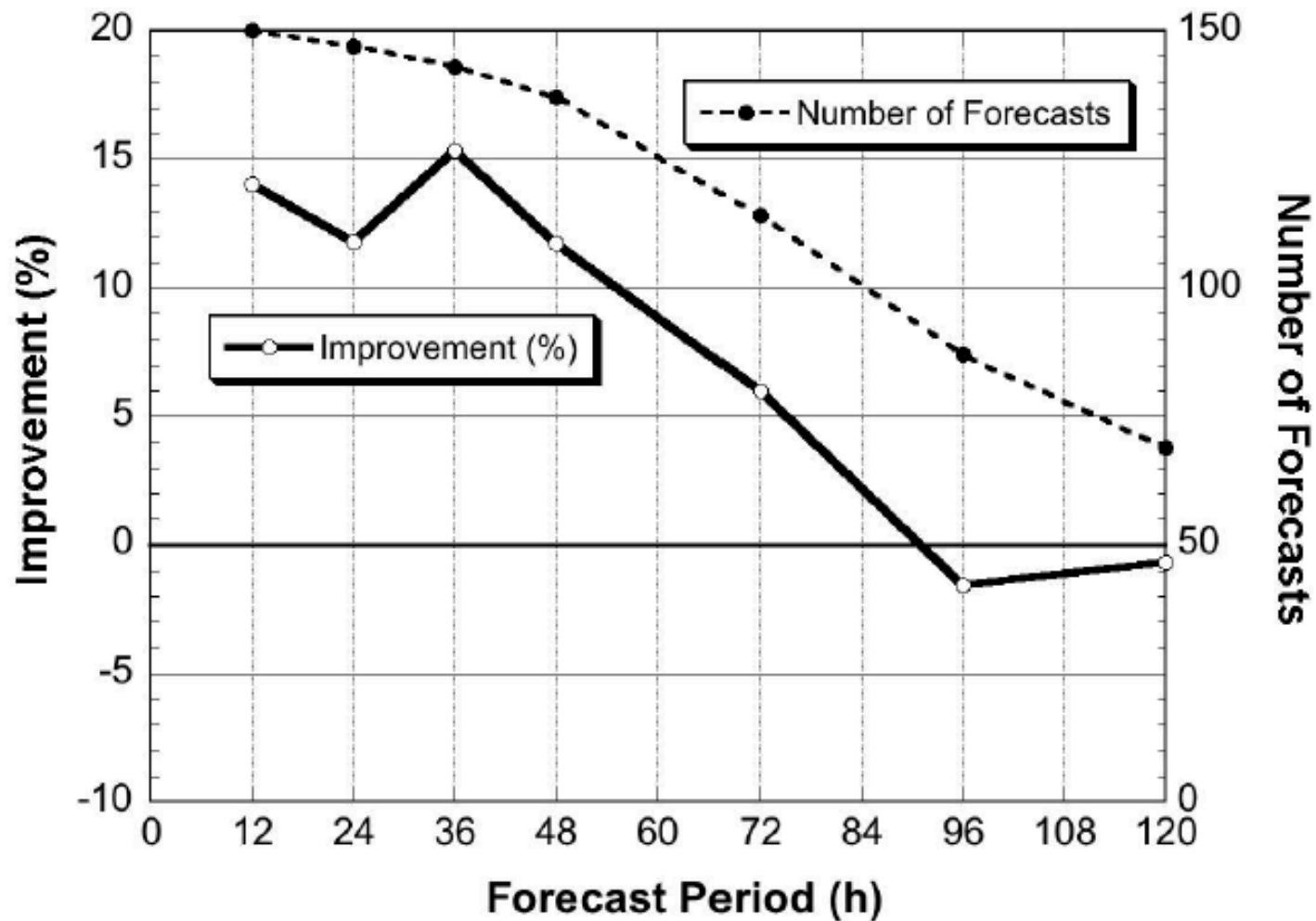
1 n mi = 1.852 Km

**Error de trayectoria
reducido
sistemáticamente**



<http://www.nhc.noaa.gov/>

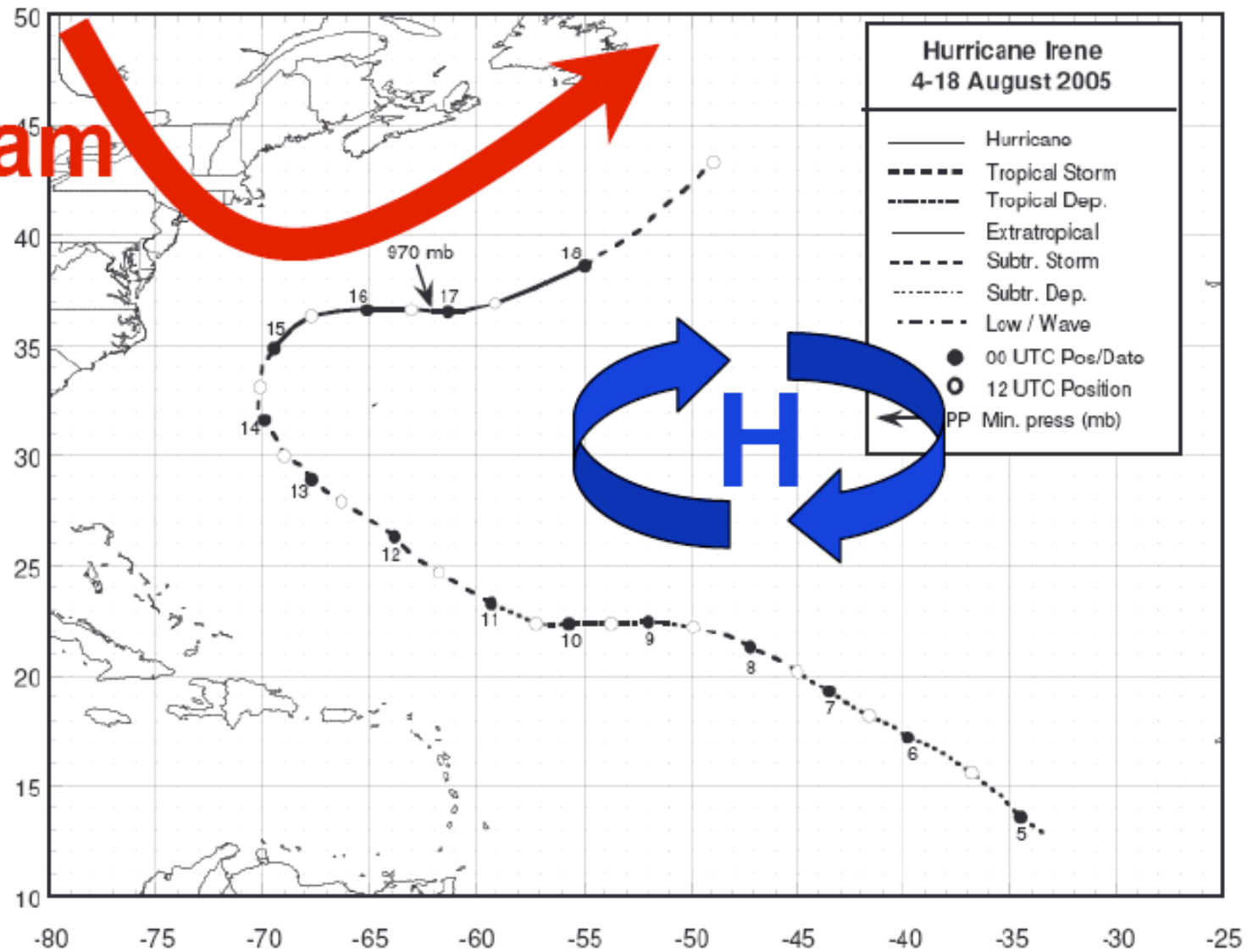
Mejora asociada a sondas



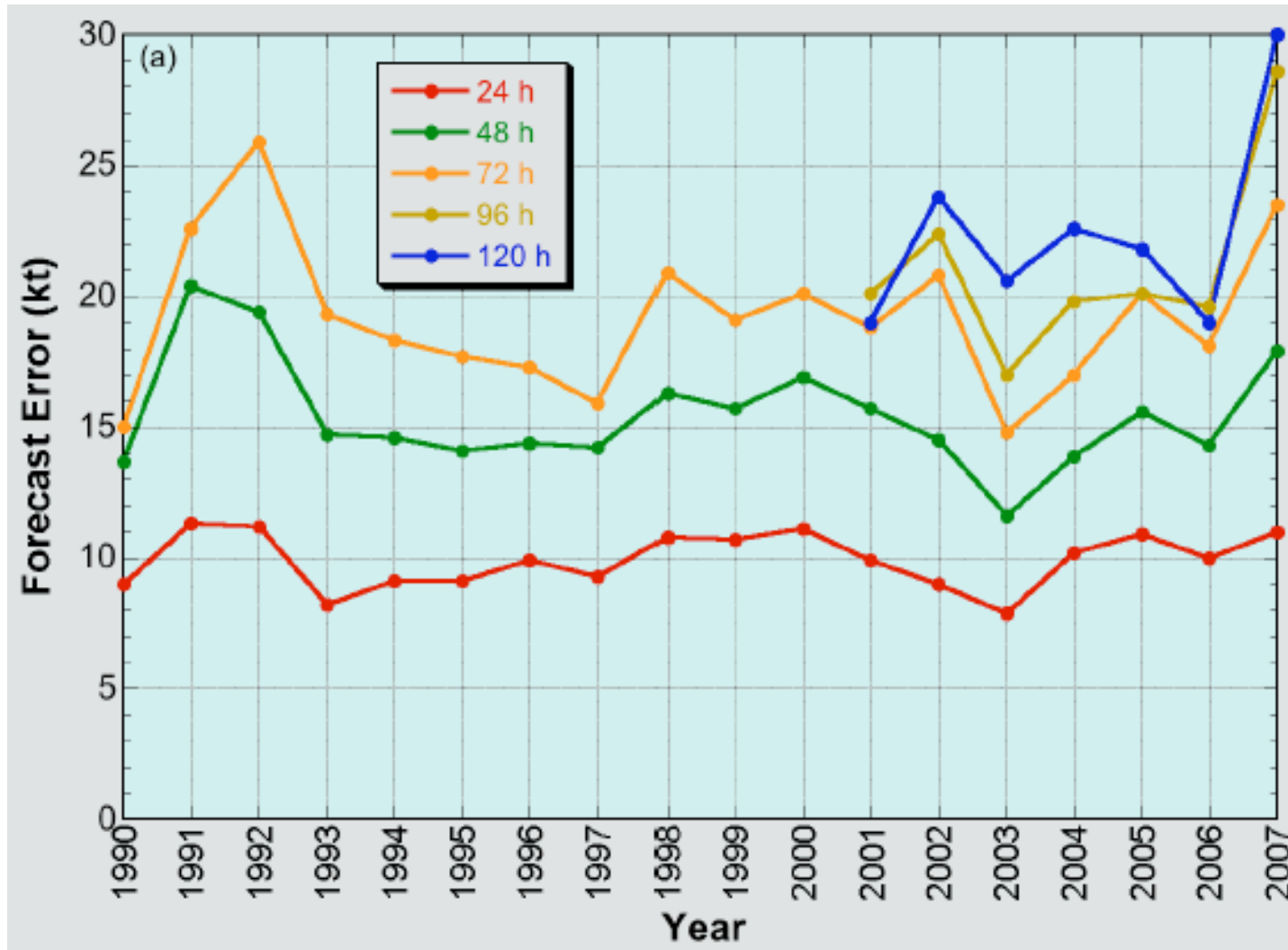
Modelo GFS, 1999-2005

Rappaport et al. (2008)

Jet stream

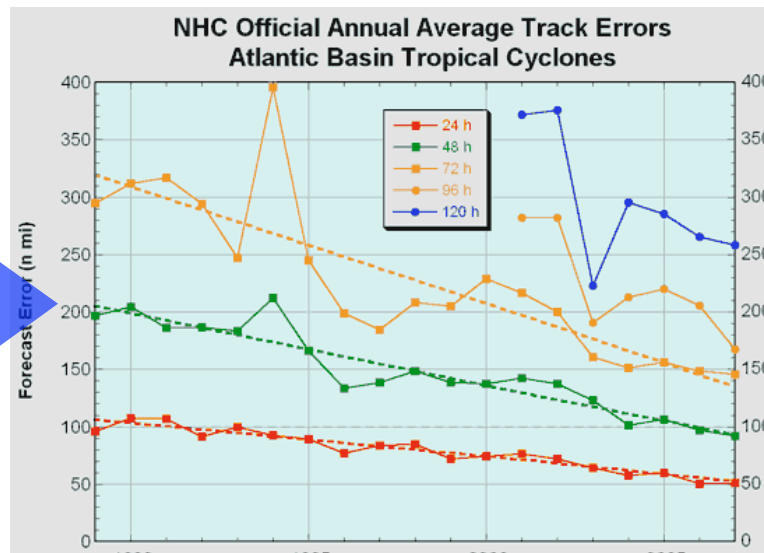


1 kt = 0.514 ms⁻¹

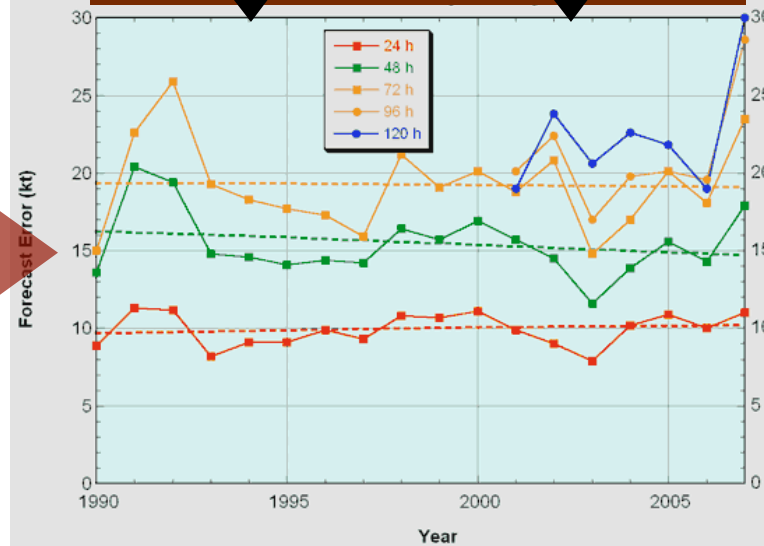


**Error de intensidad,
permanece igual**

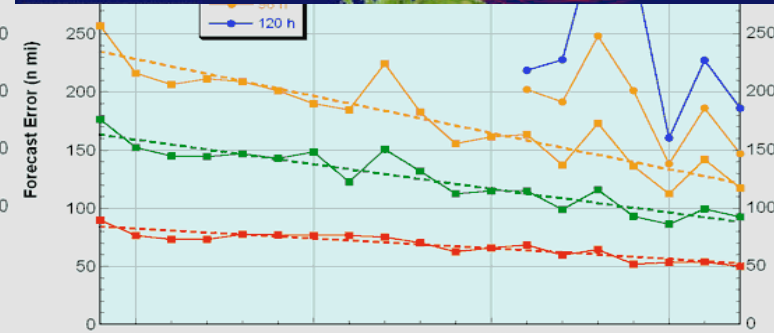
**Trayectoria
(n mi)**



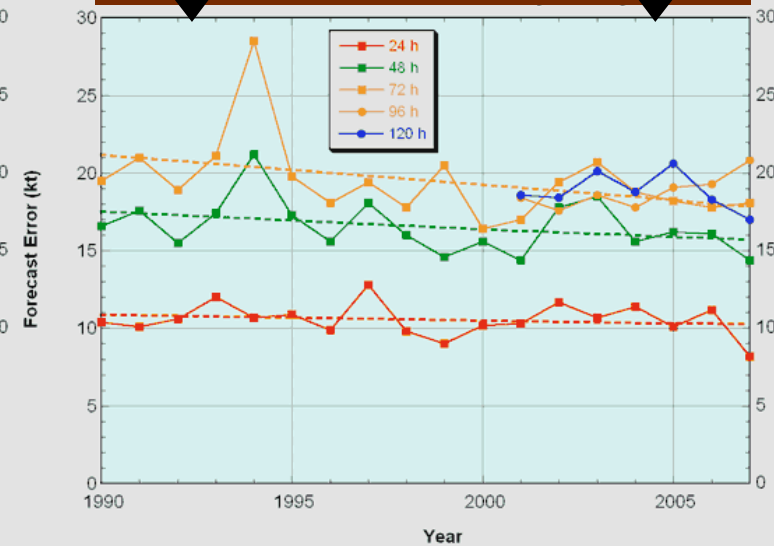
Atlántico



**Intensidad
(kt)**



Pacífico del Este



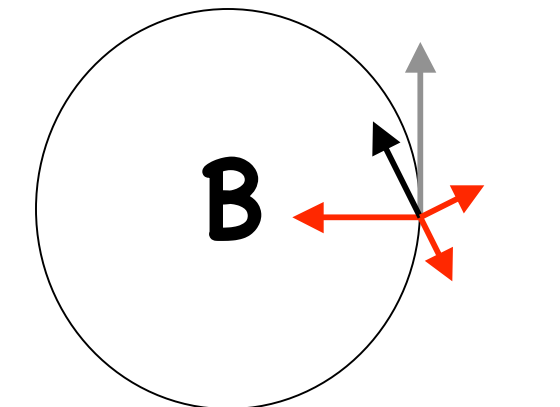
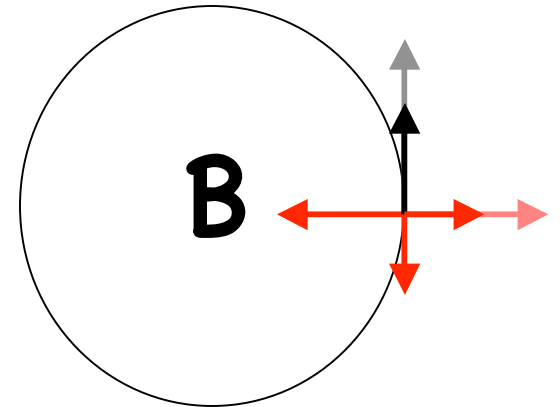
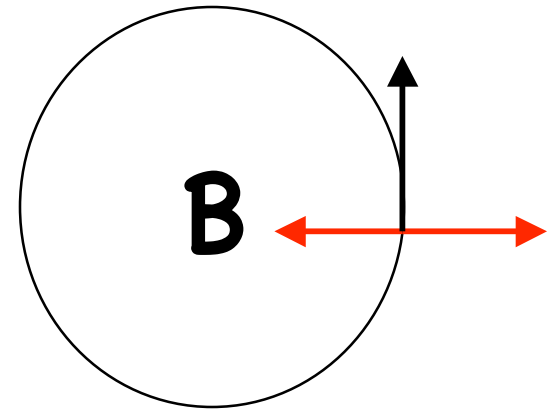
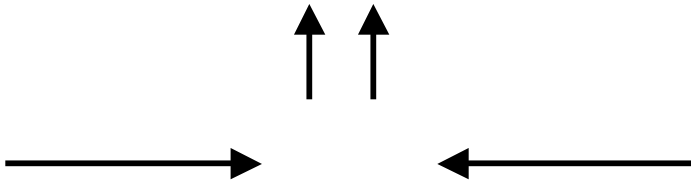
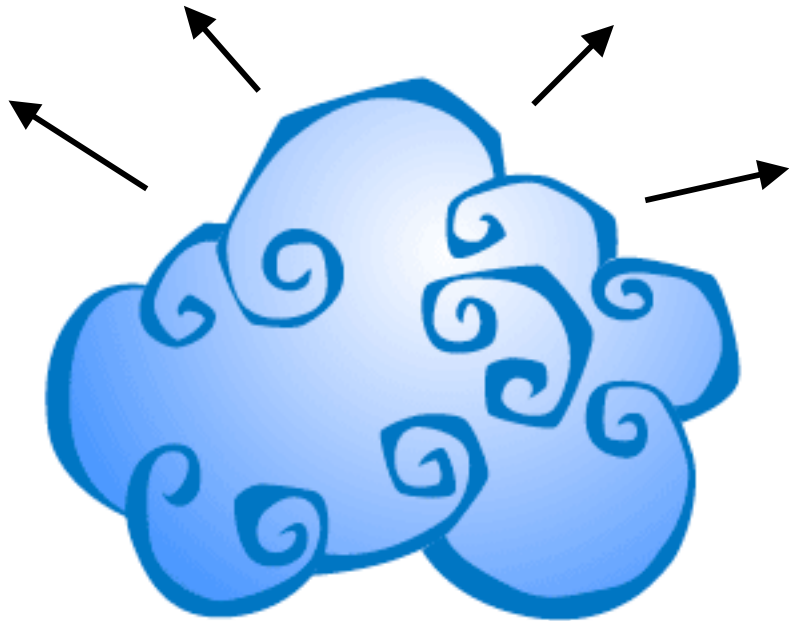
NHC, Best Track 29 Enero de 2008

Conclusiones 2

- **El pronóstico de CT combina modelos (estadísticos y dinámicos) y el juicio del pronosticador**
- **El pronóstico de trayectorias ha mejorado de acuerdo a los avances en los modelos dinámicos**
 - **La trayectoria está dada por el flujo sinóptico**
- **El pronóstico de IntCT no ha mejorado**
 - **La intensificación está dictada por procesos de escala menor a la simulada**

Inestabilidad Condicional del Segundo Tipo:

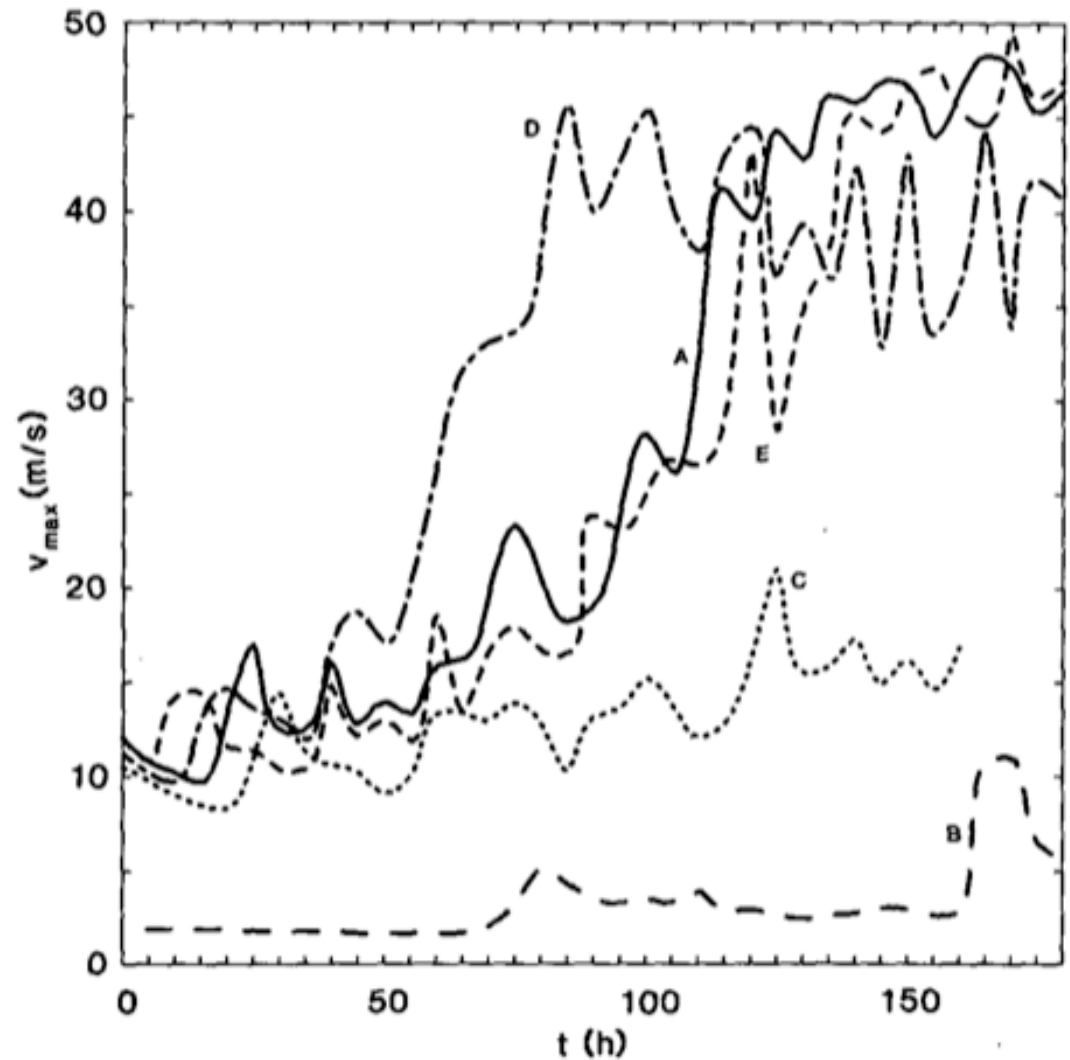
CISK



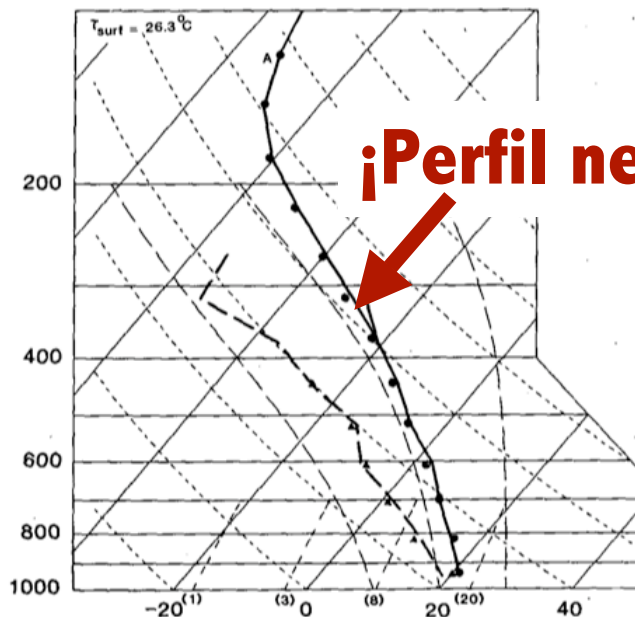
Convergencia por fricción

Rotuno and Emanuel, 1986

$$\frac{dw}{dt} = -c_p \bar{\theta}_v \frac{\partial \pi}{\partial z} + D_w + g \left\{ \frac{\theta - \bar{\theta}}{\bar{\theta}} + 0.61(q_v - \bar{q}_v) - q_l \right\}$$

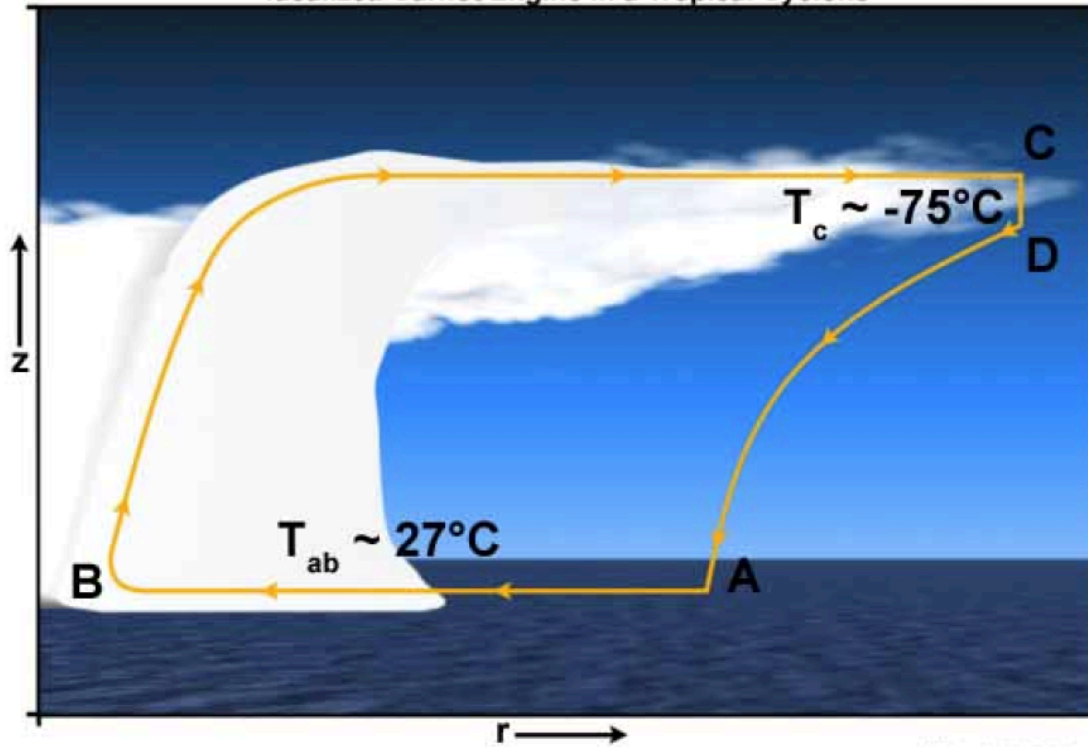


**Inestabilidad condicional
innecesaria para generar CTs**



▲ ● Jordan, 1958

Idealized Carnot Engine in a Tropical Cyclone



**Flujo de calor en la
superficie inducido
por el viento**

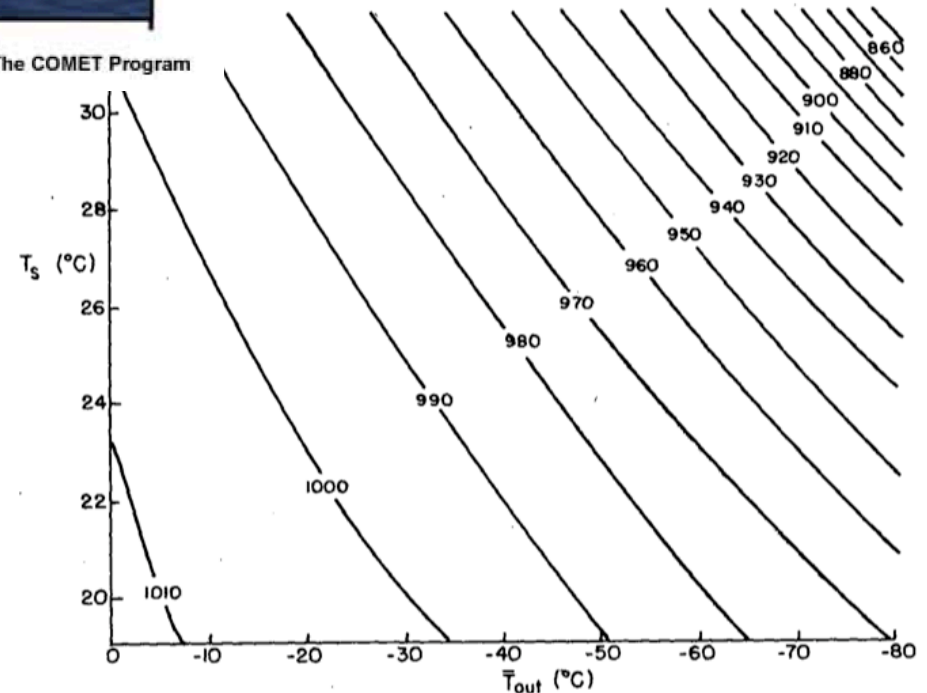
WISHE

**Los CT son resultado de una
inestabilidad océano-atmósfera**

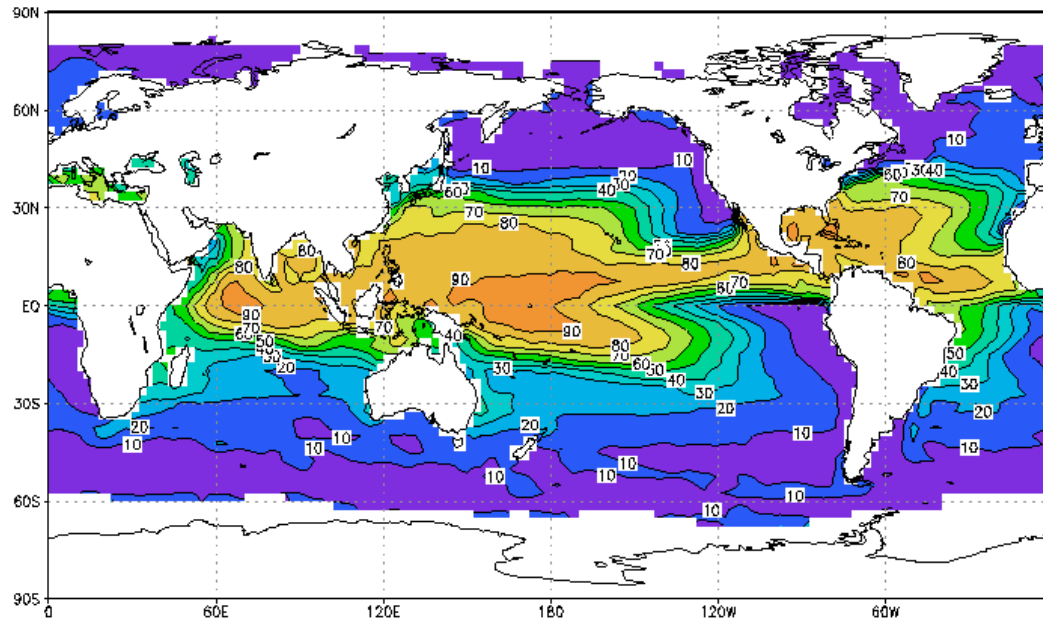
$$\varepsilon = \left(\frac{300 - 200}{300} \right) = \frac{1}{3}$$

$$V^2 = \left(\frac{T_s - T_o}{T_s} \right) \frac{C_E}{C_k} (K^* - K)$$

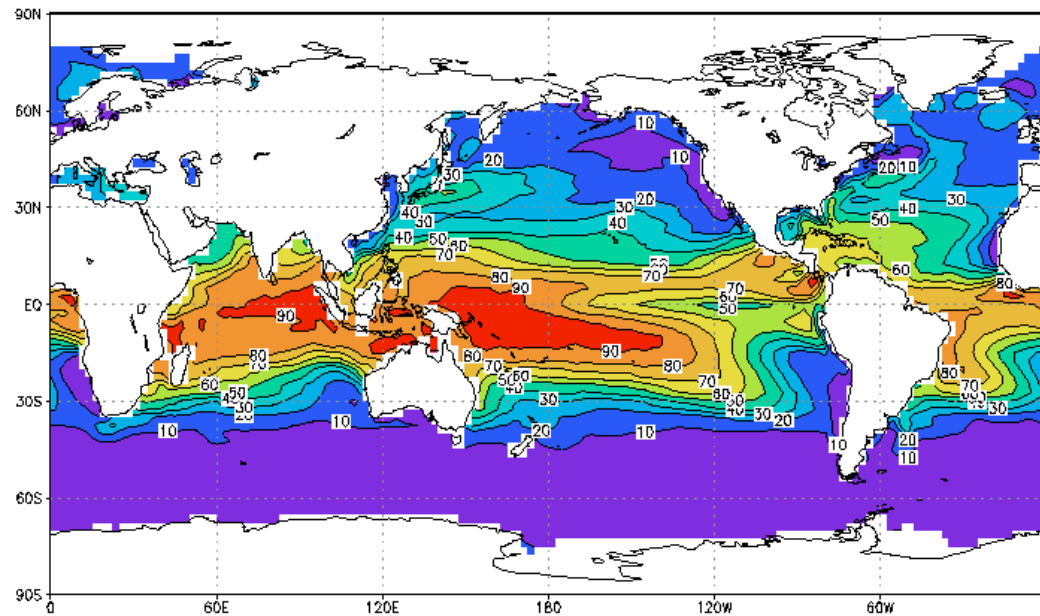
©The COMET Program



SEPTEMBER MEAN

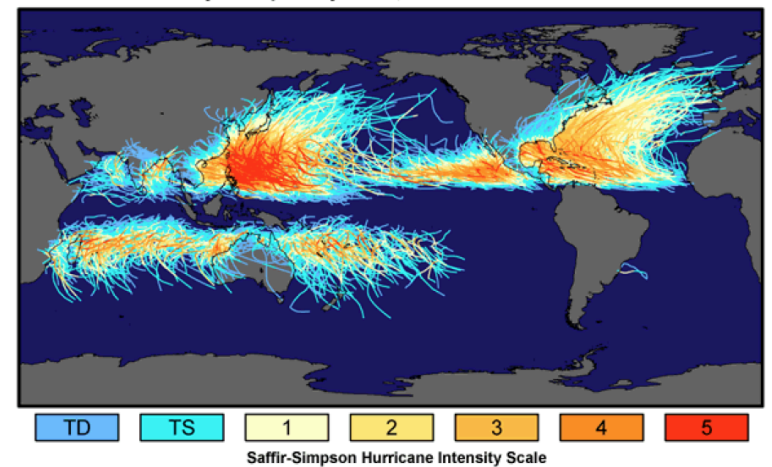


FEBRUARY MEAN



V_{max}

Tracks and Intensity of Tropical Cyclones, 1851-2006

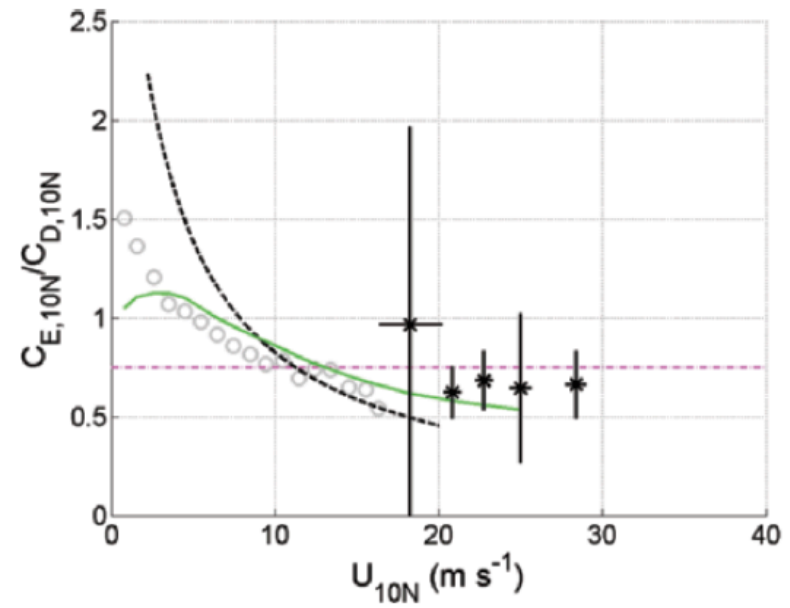
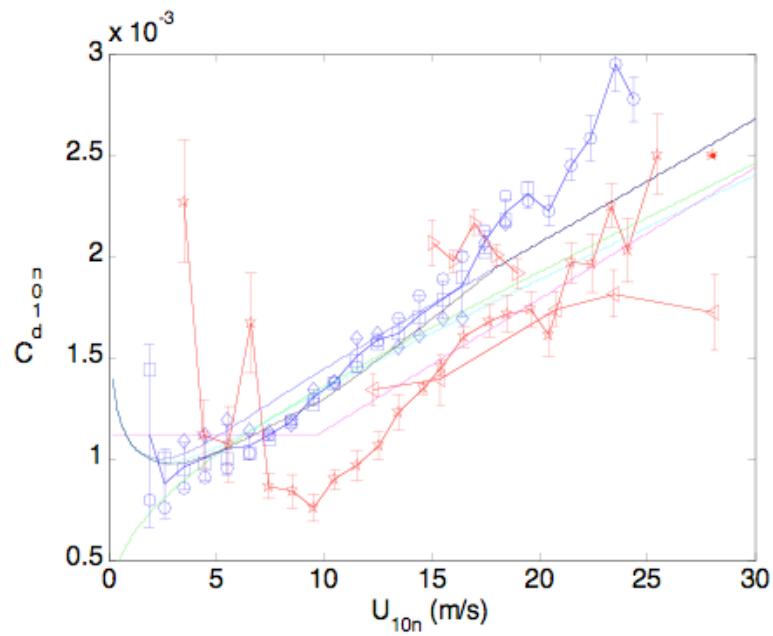
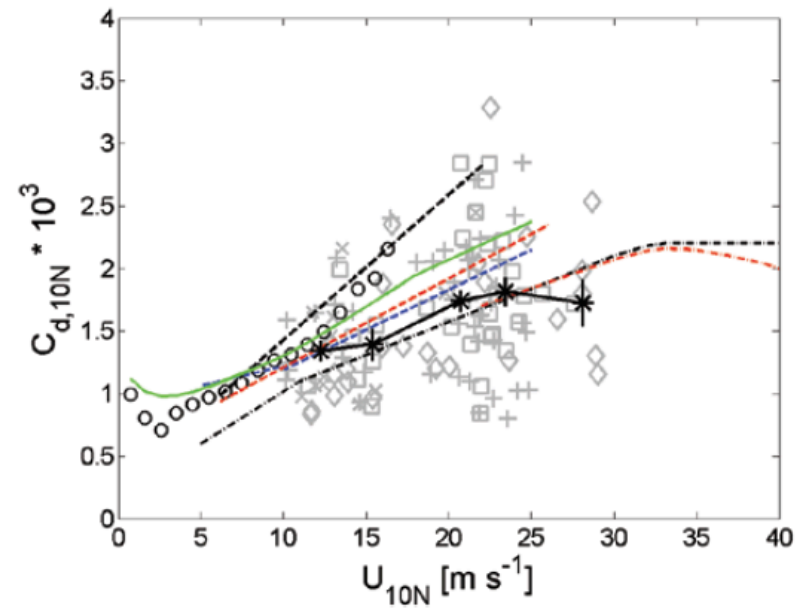
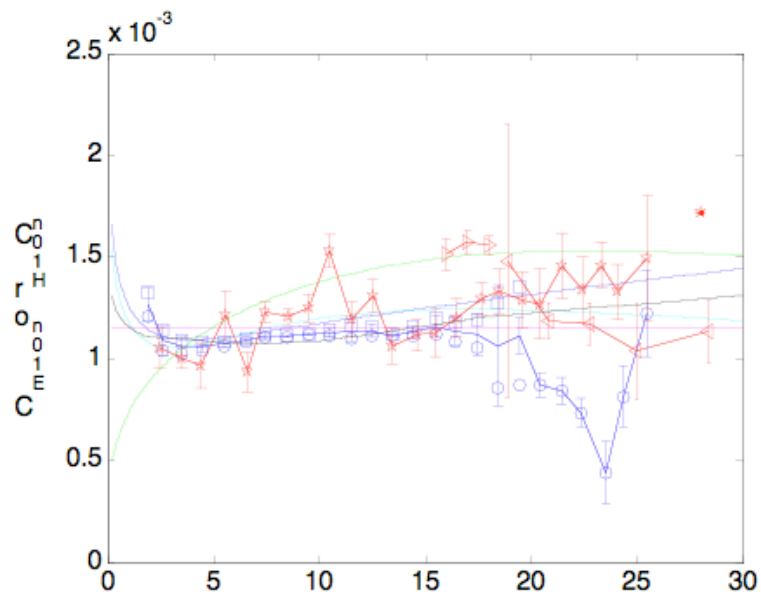


Saffir-Simpson Hurricane Intensity Scale

1851-2006

NASA

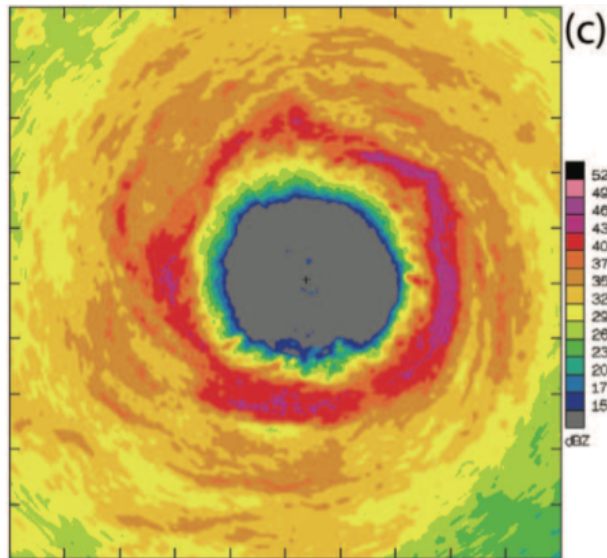
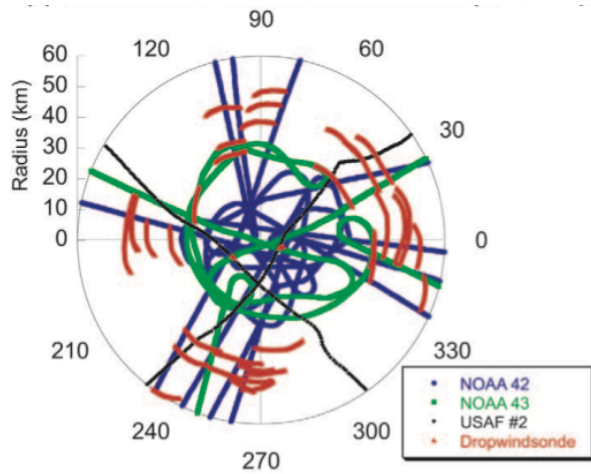
<http://wind.mit.edu/%7Eemanuel/pcmin/climo.html>



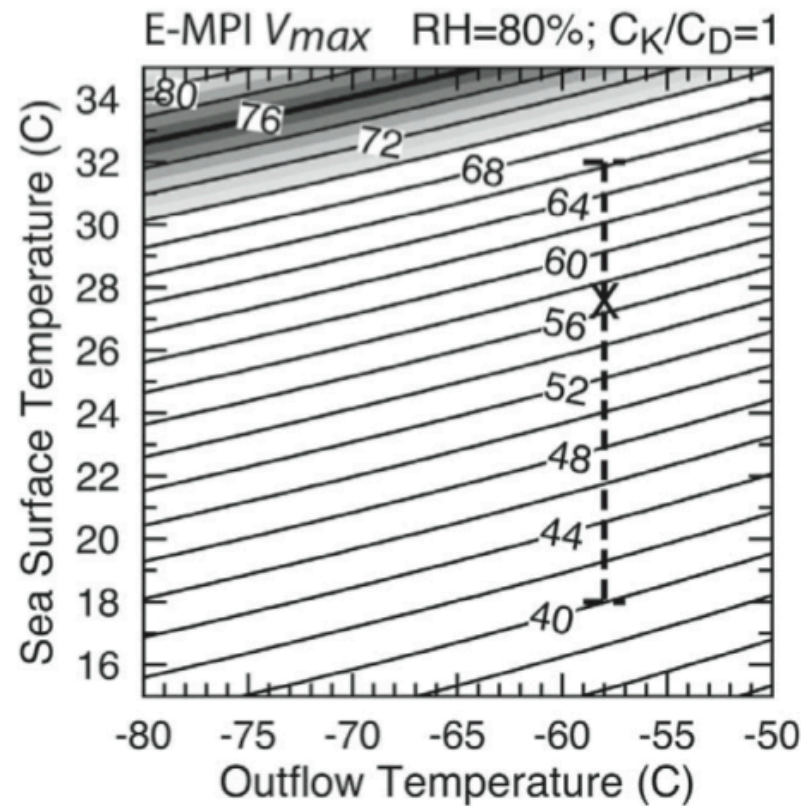
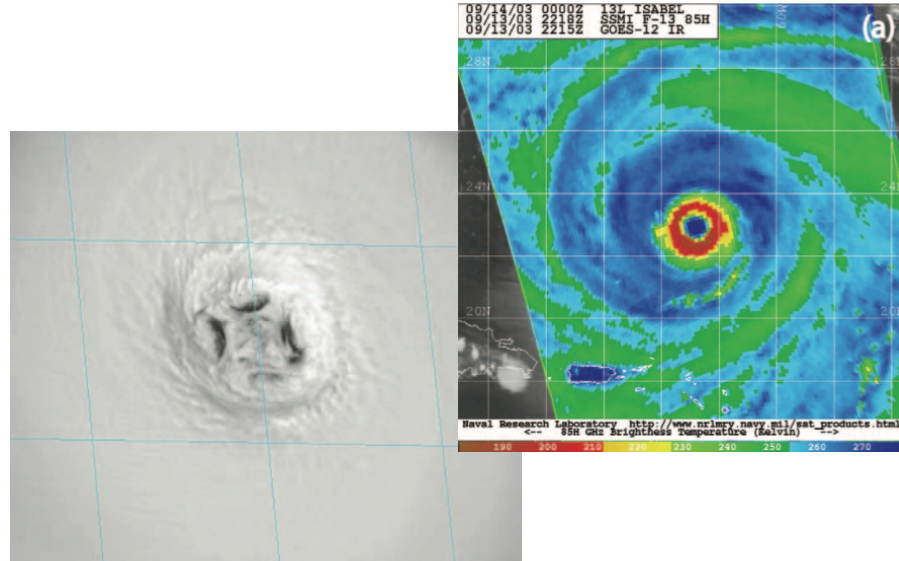
Chris Fairall 2009, comunicación personal

Black et al. 2007

“Turboboost”

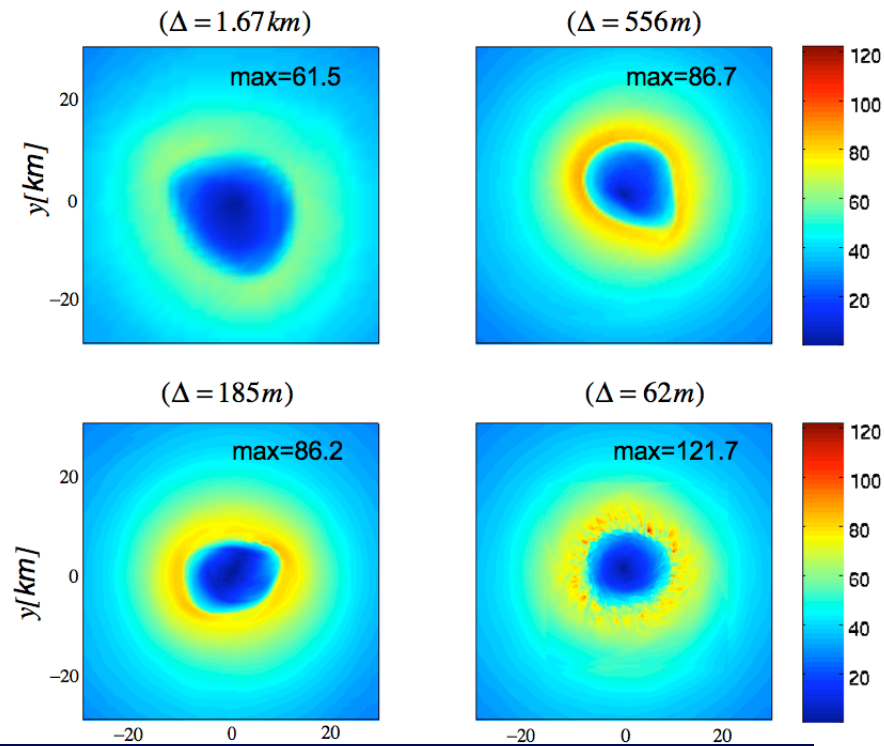


Isabel, 03

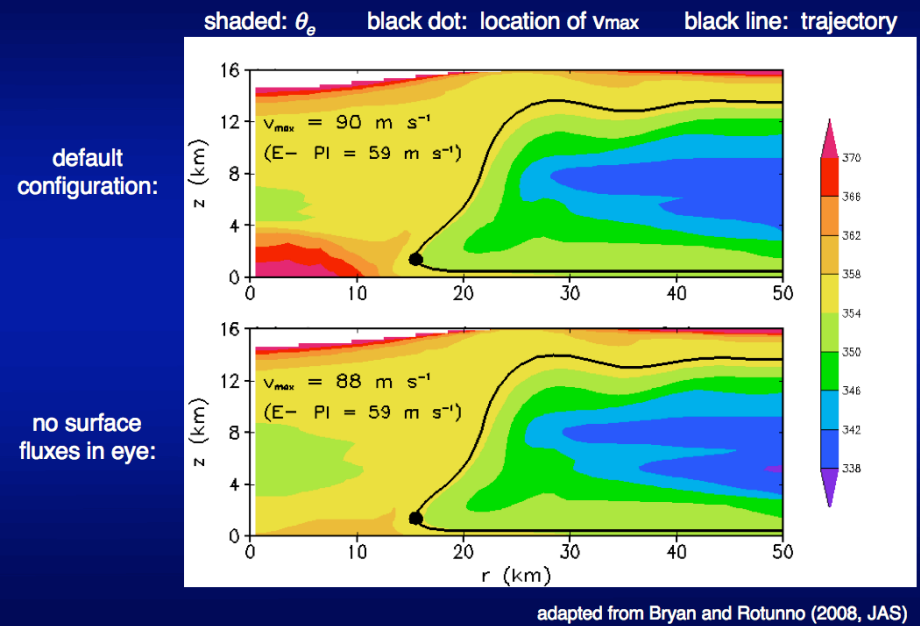


Montgomery et al. 2006

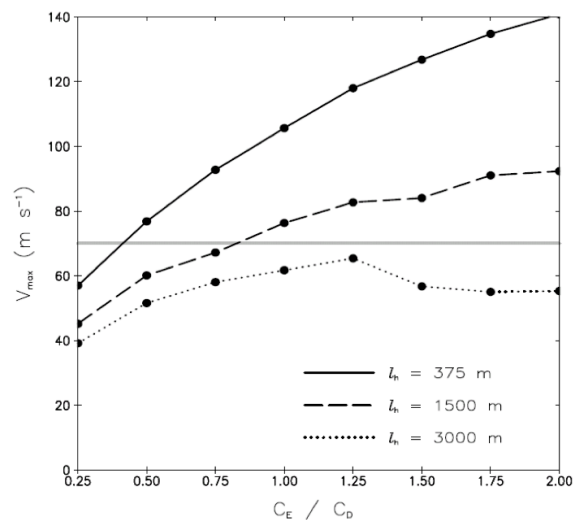
10-m Wind Speed $t=9.75d$



Evaluation of the PM03 mechanism



Sensitivity to l_h vs sensitivity to C_E / C_D

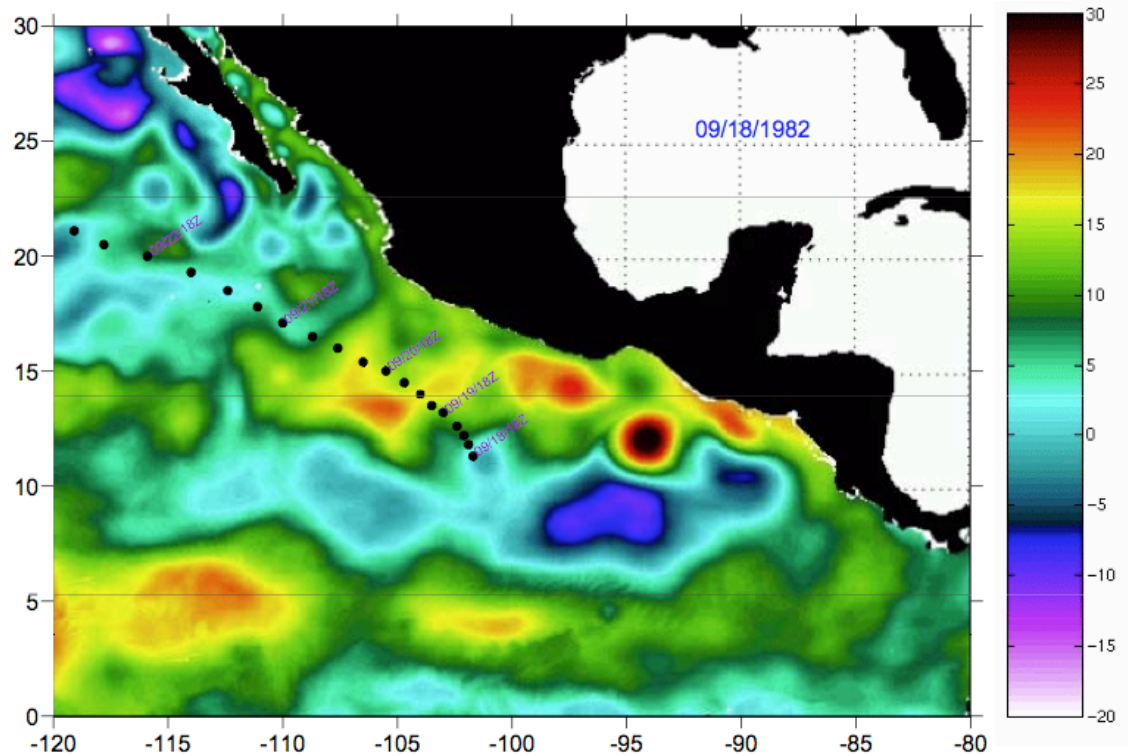


from R. Rotunno

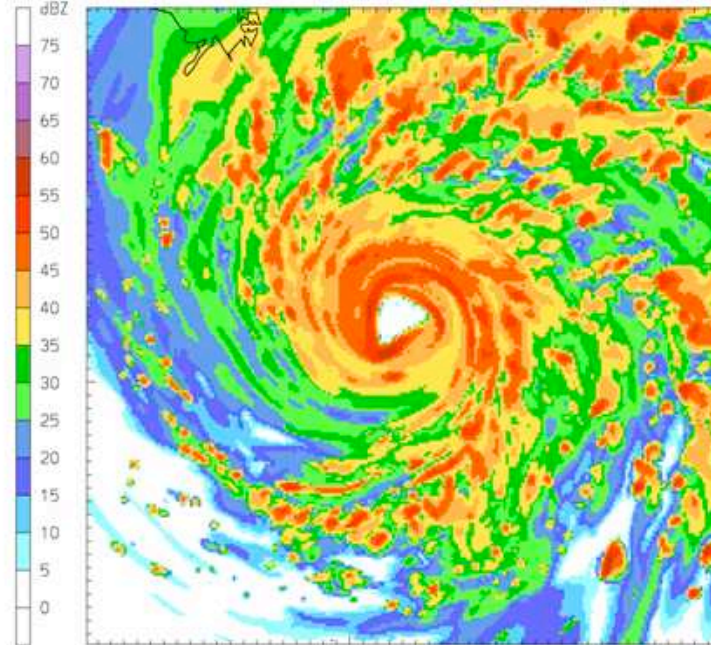
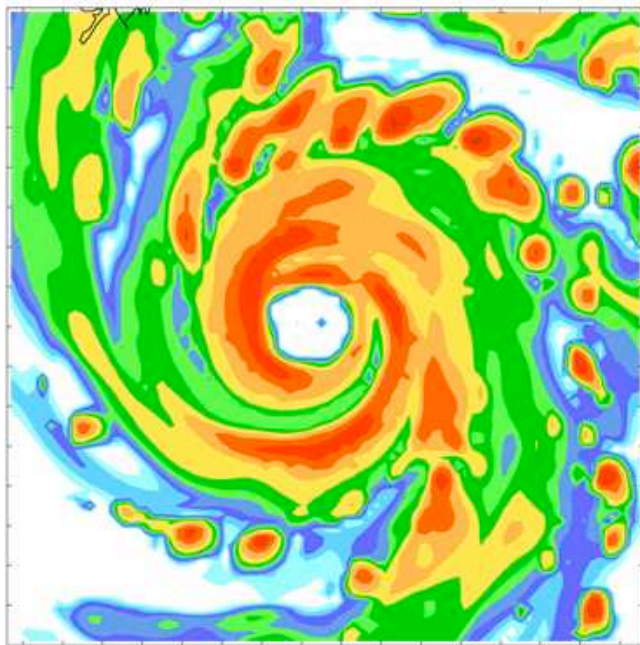
**Parametrización de
turbulencia
¡Muy importante!**

Papel de estructuras de mesoescala en el océano

Olivia, 1982



Oropeza, 2008



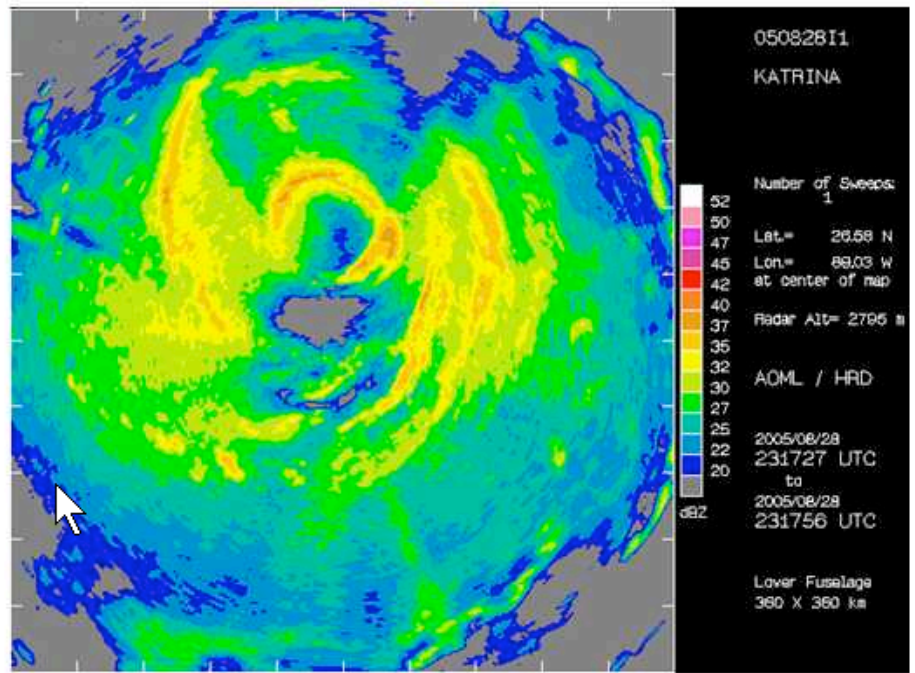
320 km

Katrina 2005 Radar Reflectivity

~00 UTC 29 August

Top: AHWRF 4 km (left),
1.33 km (right)

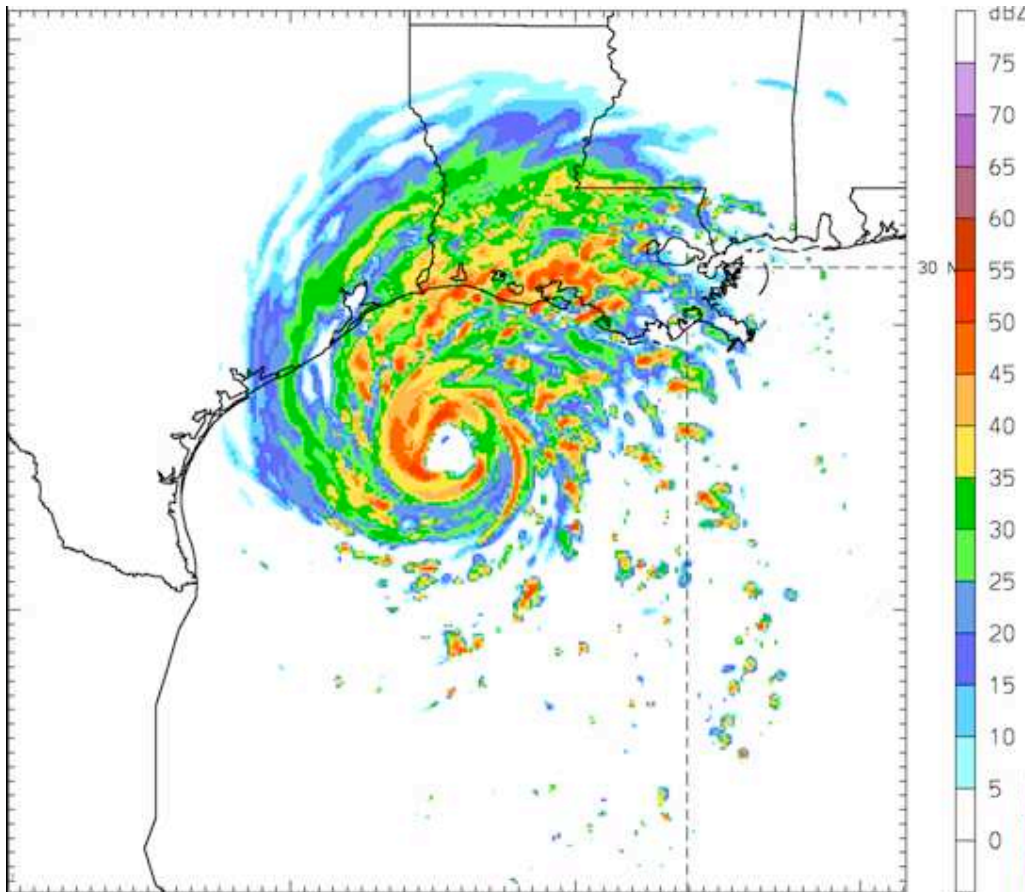
Right: NOAA P3 LF radar



Corbosiero (2008)

Hurricane Rita

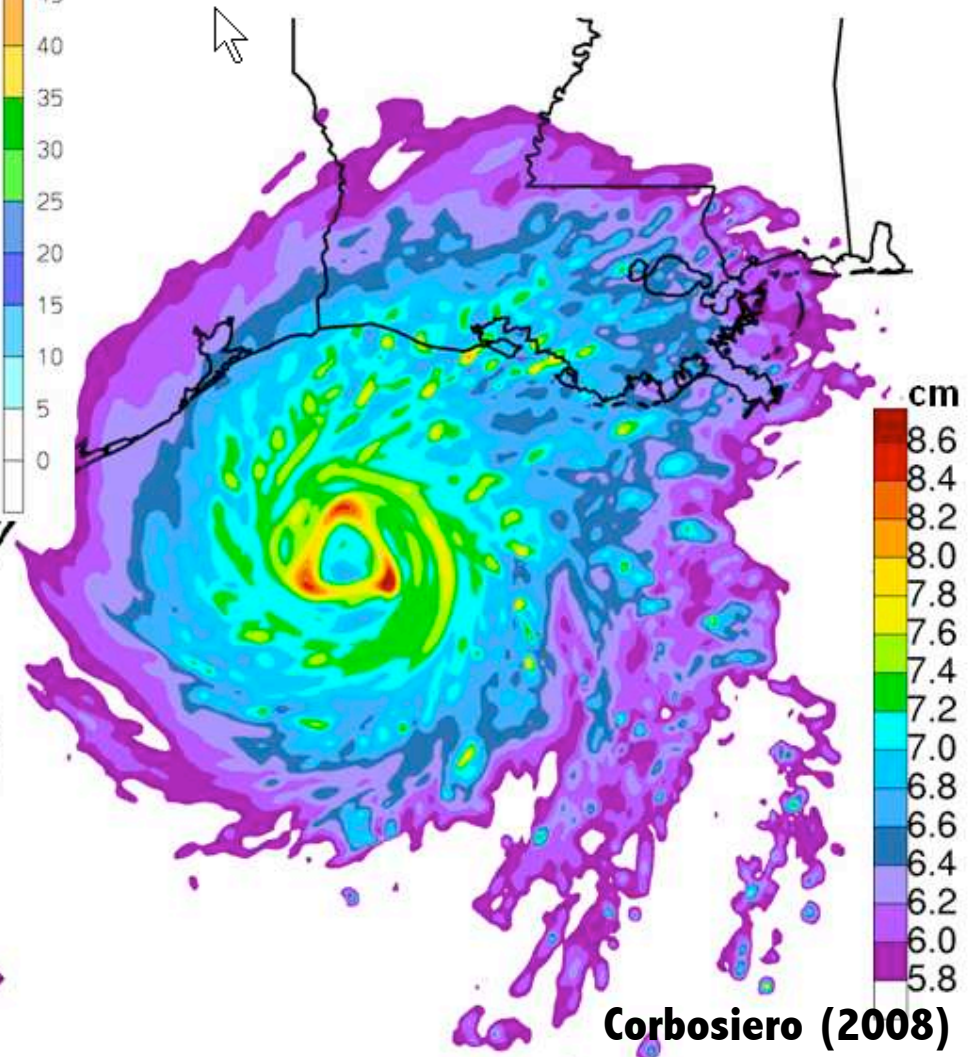
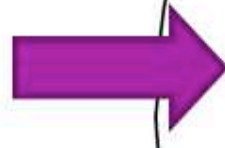
**03 UTC 24 September
39 hr forecast**



**Column maximum
reflectivity**

AHWRF 4 km

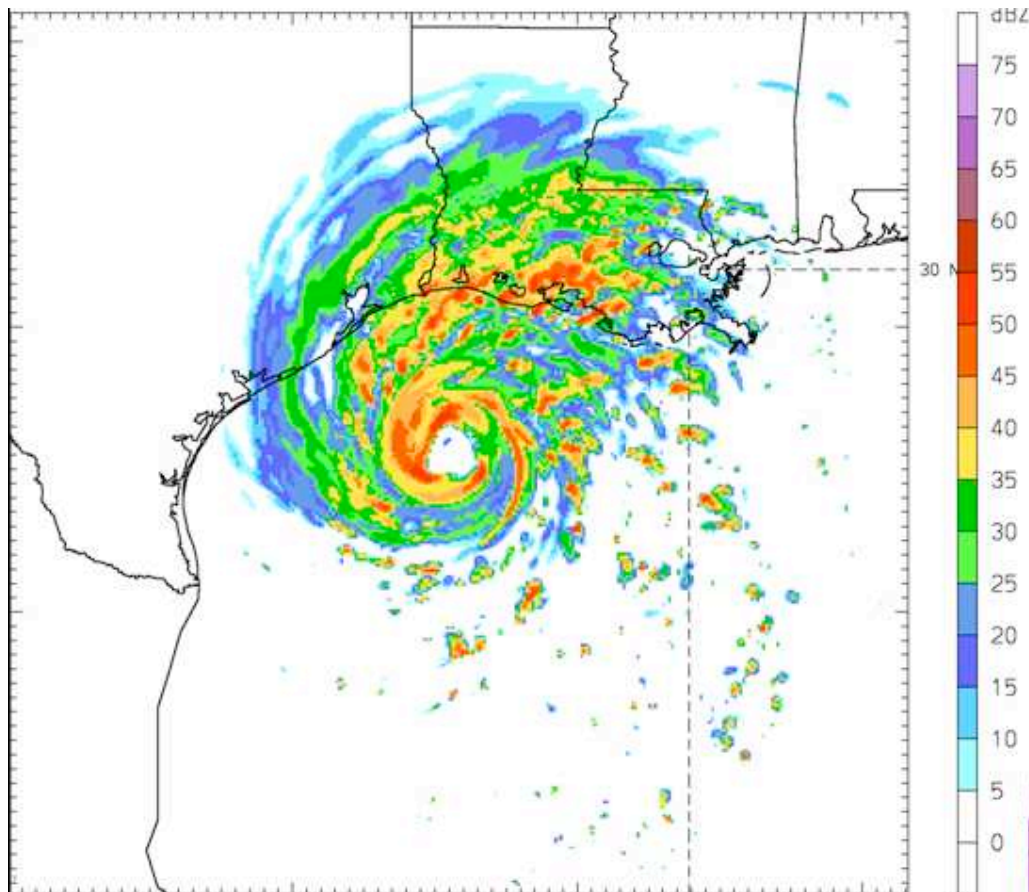
Precipitable water



Corbosiero (2008)

Hurricane Rita

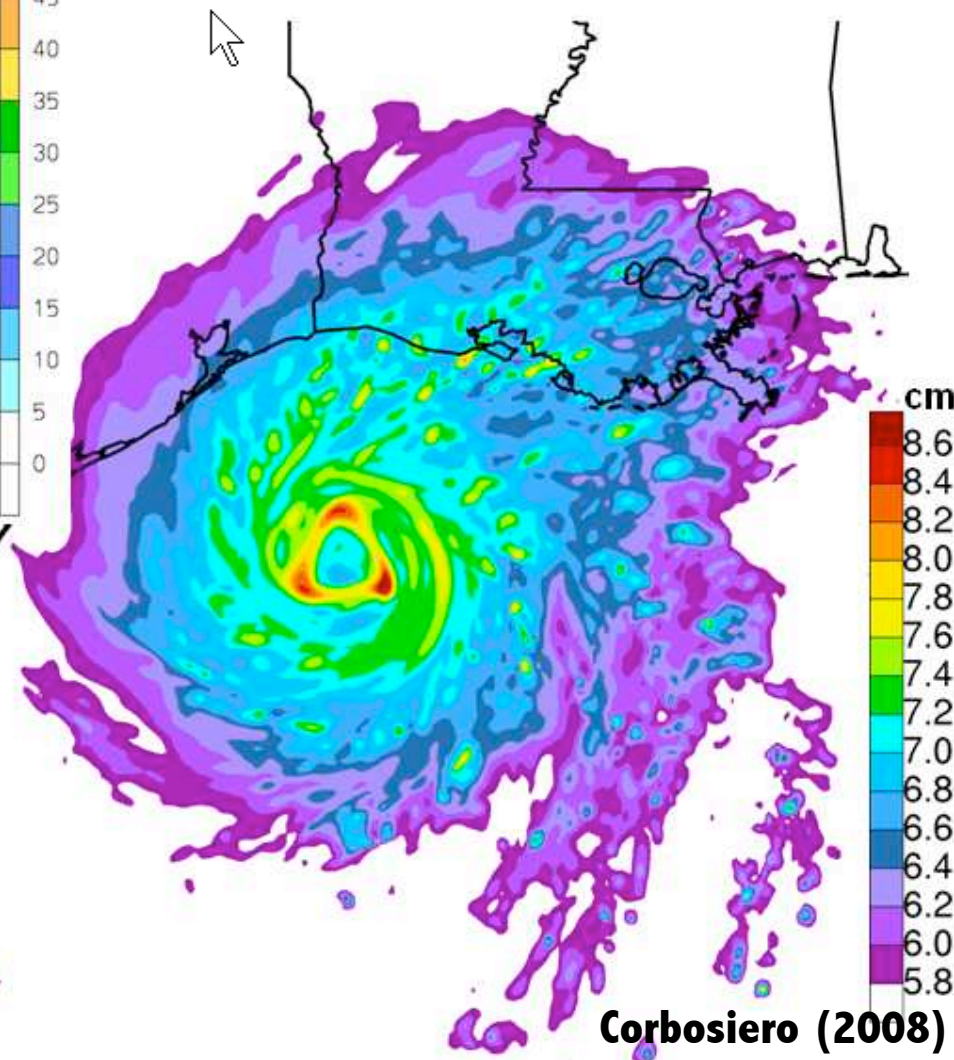
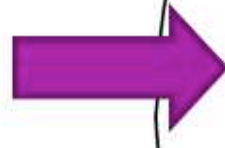
**03 UTC 24 September
39 hr forecast**



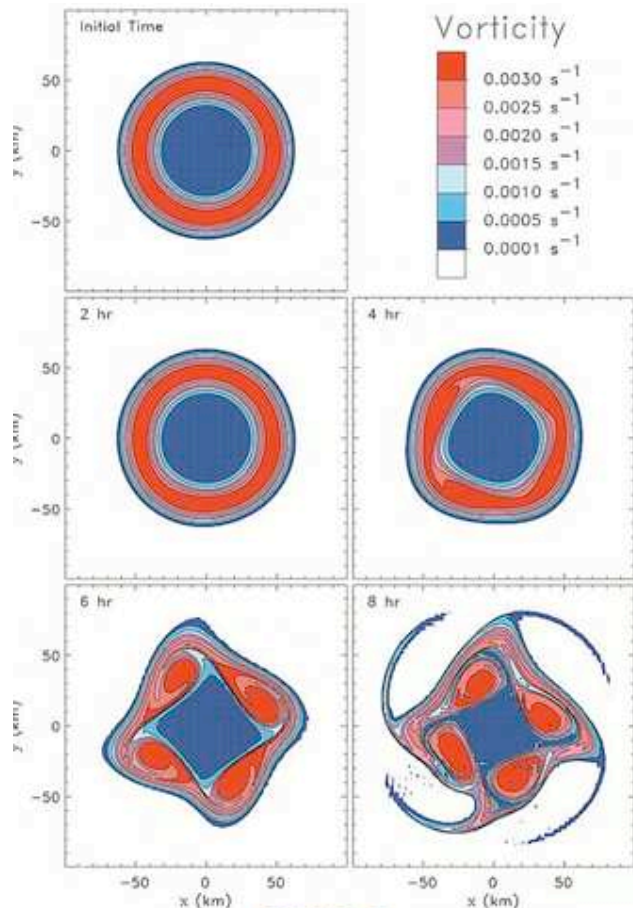
**Column maximum
reflectivity**

AHWRF 4 km

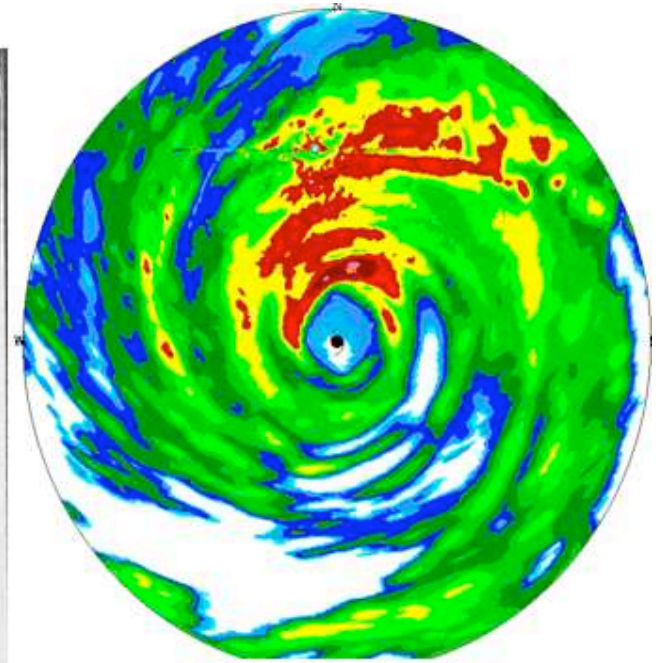
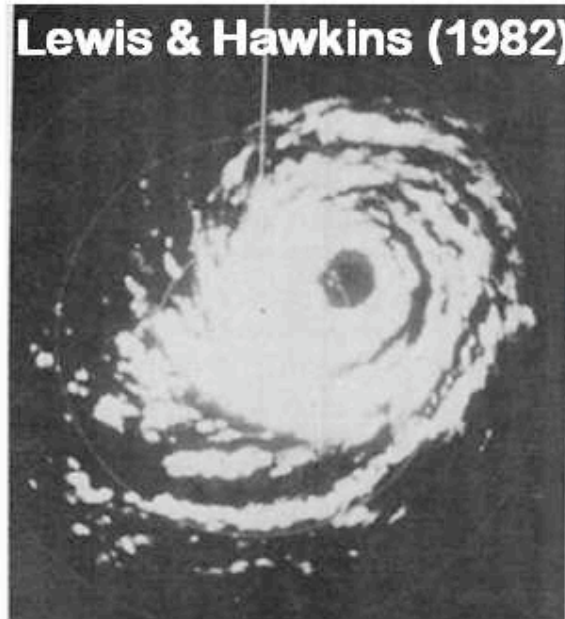
Precipitable water



Corbosiero (2008)



Lewis & Hawkins (1982)

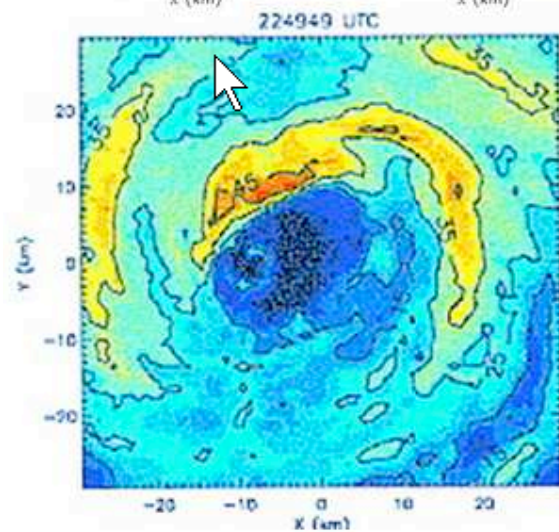


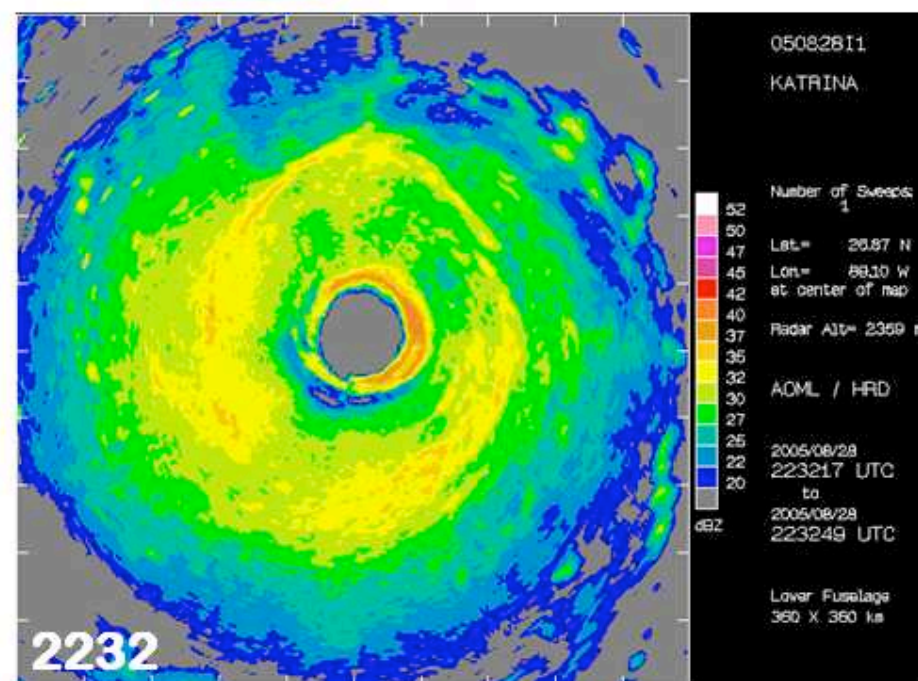
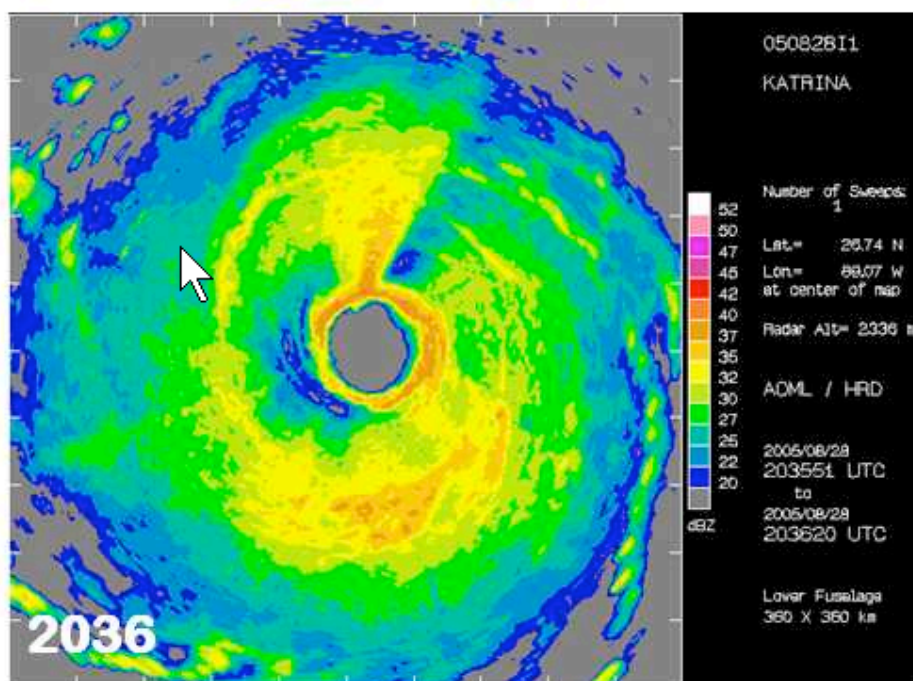
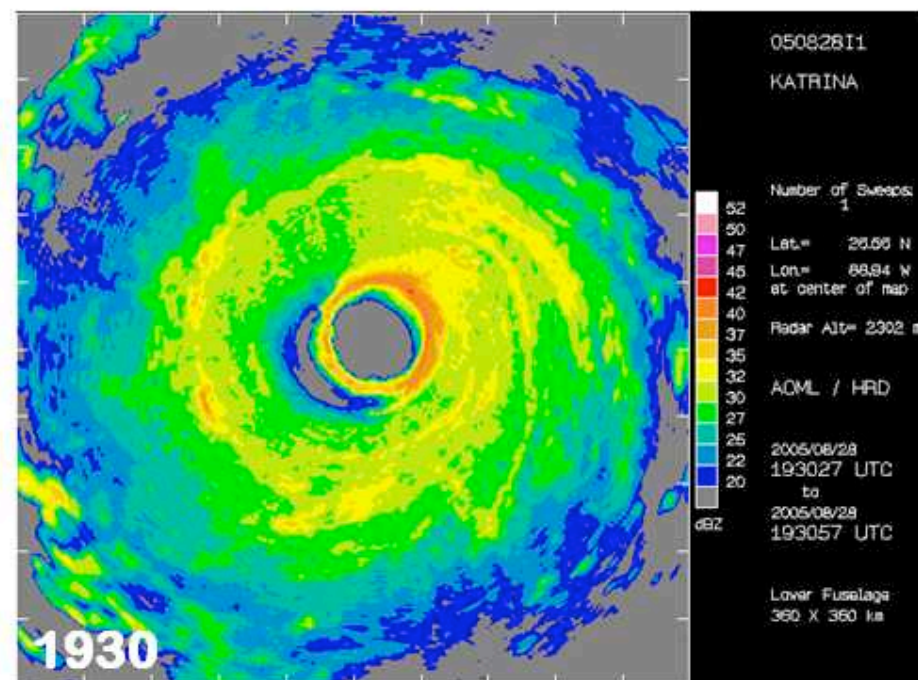
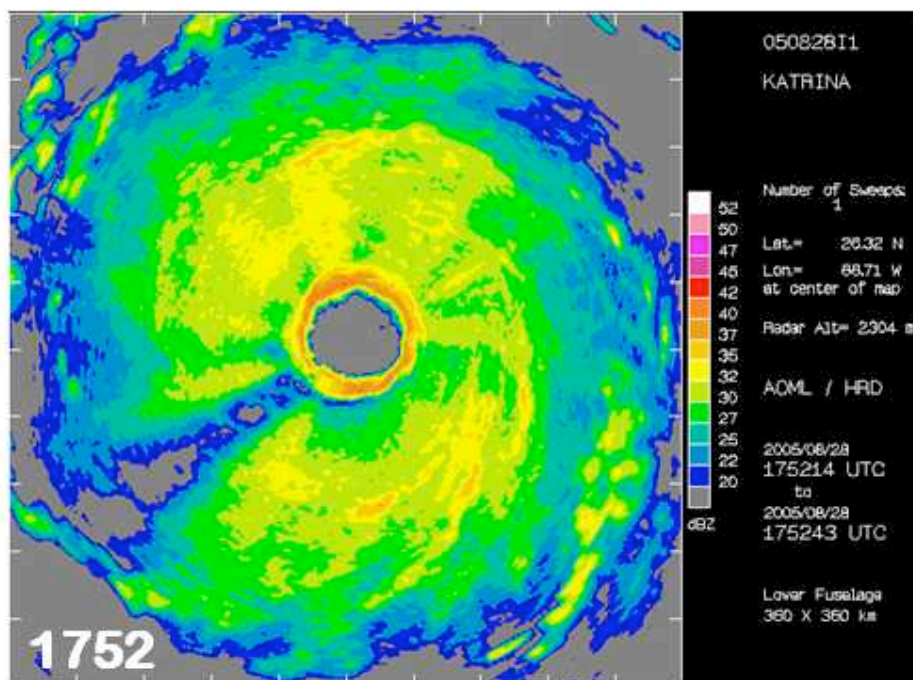
Corbosiero et al. (2006)

**Schubert et al.
(1999)**

**Reasor et al.
(2000)**

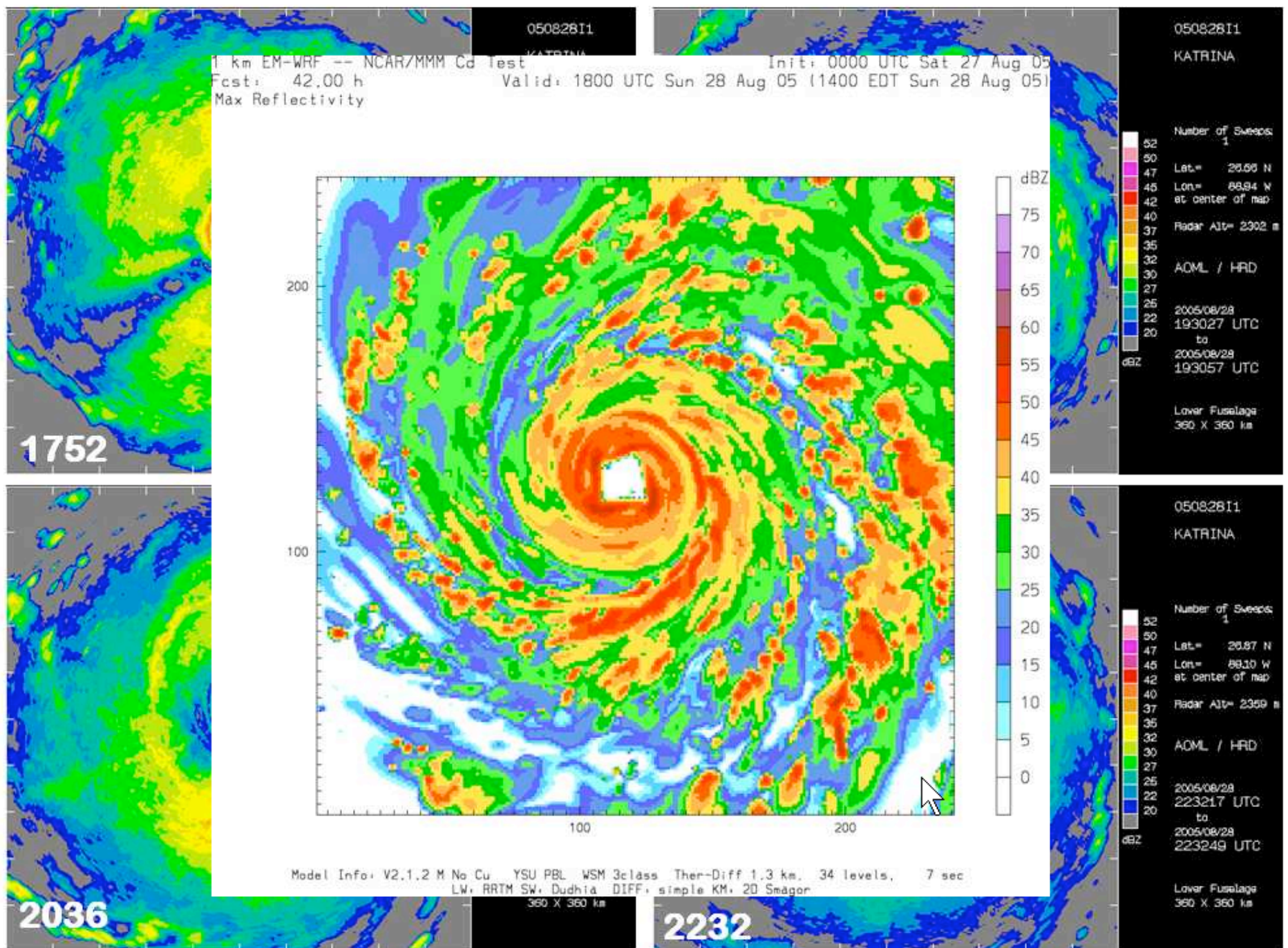
**Kossin & Schubert
(2004)**





Corbosiero (2008)

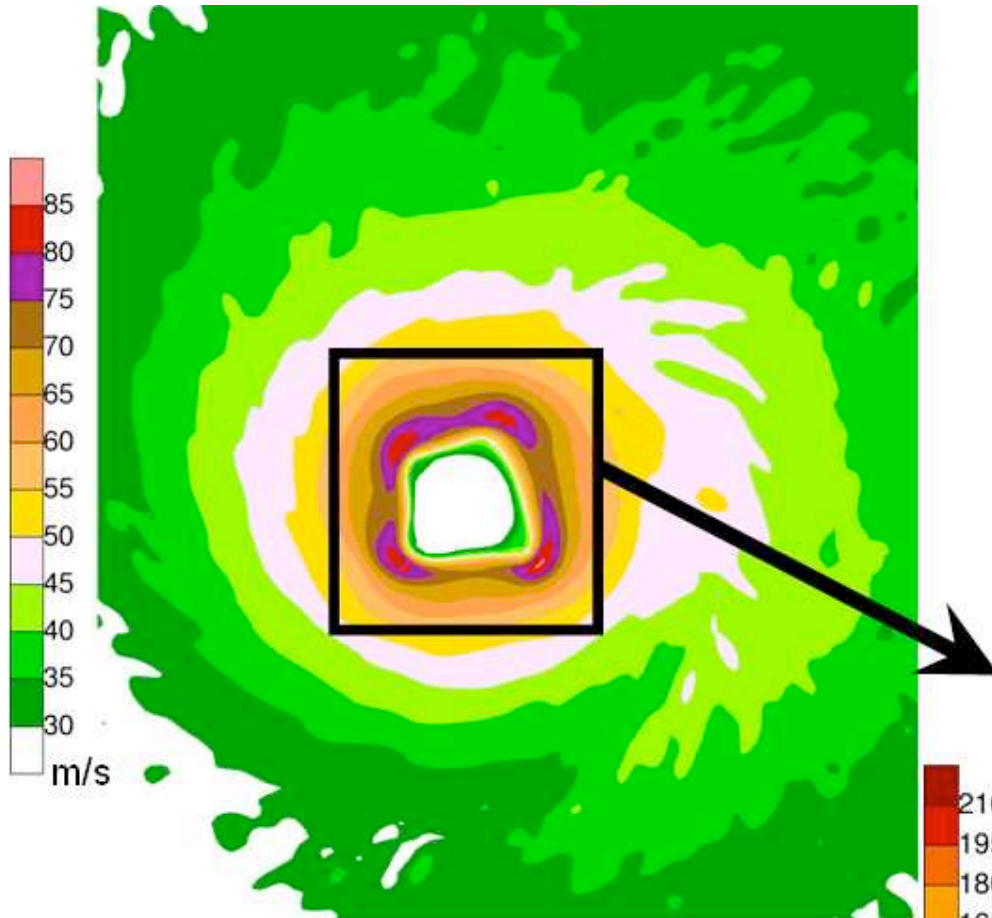
HRD/AOML/NOAA



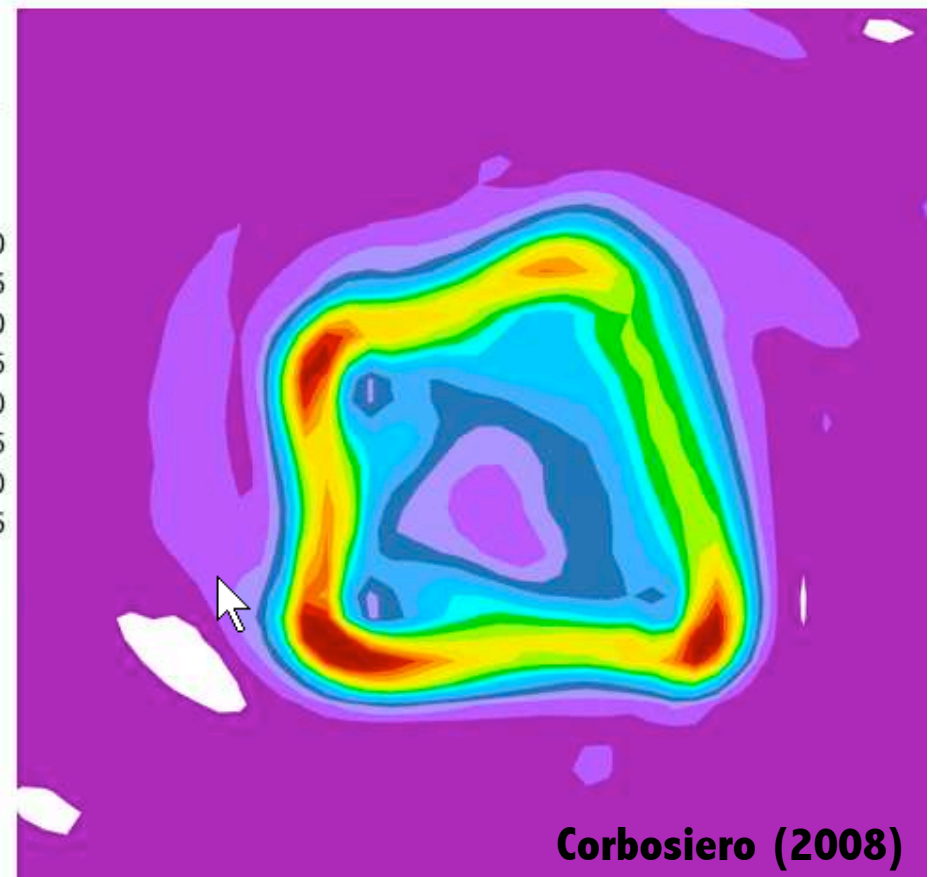
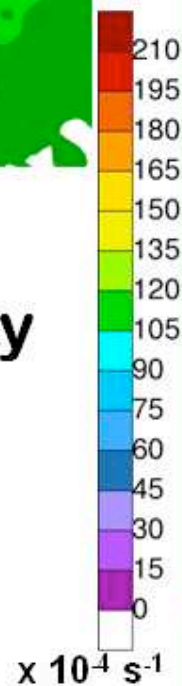
Corbosiero (2008) HRD/AOML/NOAA

Katrina 1.33 km WRF

900 hPa wind speed



900 hPa relative vorticity



Corbosiero (2008)

Conclusiones 3

- **Los procesos más fundamentales de la intensificación de CT no son claros**
- **La dinámica ha recibido menos atención que la termodinámica**
- **Disponibilidad de simulaciones numéricas hace posible el estudio de la dinámica**