ICAO

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION

A UN SPECIALIZED AGENCY

Termodinámica: Índices de Estabilidad y Tormentas

José Manuel Gálvez

Investigador e Instructor

Axiom para WPC International
Desks/NWS/NOAA

Contenido

01 Estabilidad Estática y evaluación con sondeos

02 Índices de Estabilidad

03 El Índice Gálvez-Davison (GDI)

04 La Herramienta de Identificación de Inversión de Vientos Alisios (TWIN)

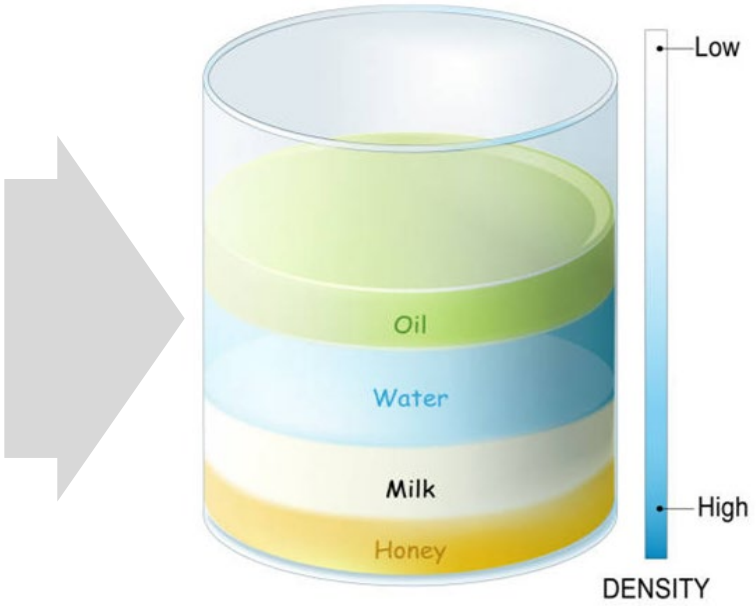
05 Tormentas Eléctricas y Tormentas Eléctricas Severas

01

Estabilidad Estática y evaluación con sondeos

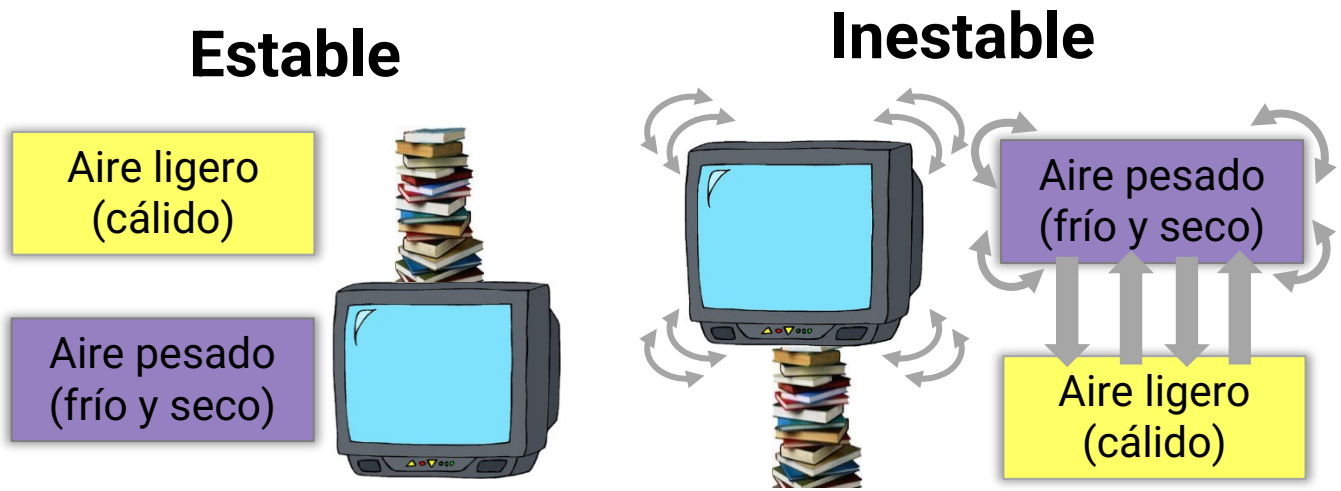
Estabilidad Estática

- Representa lo desfavorable que está la atmósfera para permitir el desarrollo de movimientos verticales.
- Piense en el apilamiento vertical de fluidos de diferente densidad. El fluido más denso (más pesado) tenderá a hundirse hasta el fondo debido a la gravedad.
- Un fluido es estable si la parte más densa ya se encuentra en el fondo.
- La atmósfera (un fluido) es estable cuando la densidad disminuye con la altura. Esto se puede evaluar analizando perfiles verticales de temperatura y humedad.



Estabilidad Estática

- Una situación estable es cuando el aire liviano se asienta sobre el aire pesado.
- Si se desarrolla aire liviano cerca de la superficie (p. ej., la radiación solar calienta el aire y lo vuelve liviano), entonces se desarrollará una situación inestable y se formarán movimientos verticales.



Importancia para la aviación: la estabilidad se puede utilizar para evaluar el potencial de tormentas eléctricas y también la turbulencia.

Estabilidad Estática en la Atmósfera

En la atmósfera, las capas estables limitan el movimiento vertical e inhiben el desarrollo de la convección. Cuando una nube alcanza la capa estable, se propaga horizontalmente.

Estable

Capa estable en la parte superior del yunque (anvil)

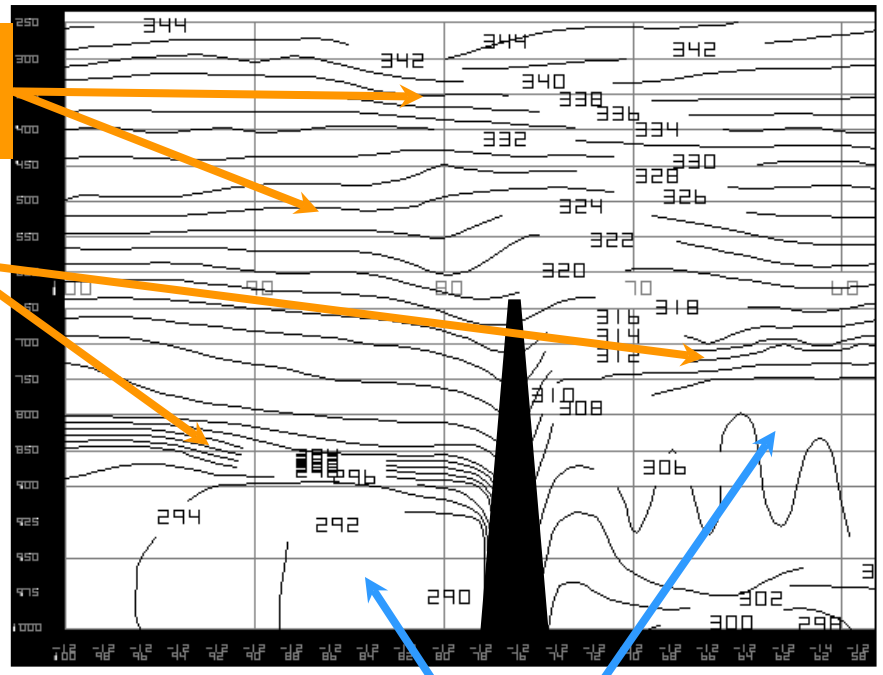
Inestable

Una capa estable puede verse como una región que separa una masa de aire densa (más fría) de una liviana (más cálida) que esté encima.

Evaluación de la estabilidad con secciones transversales de la temperatura potencial, theta (Θ)

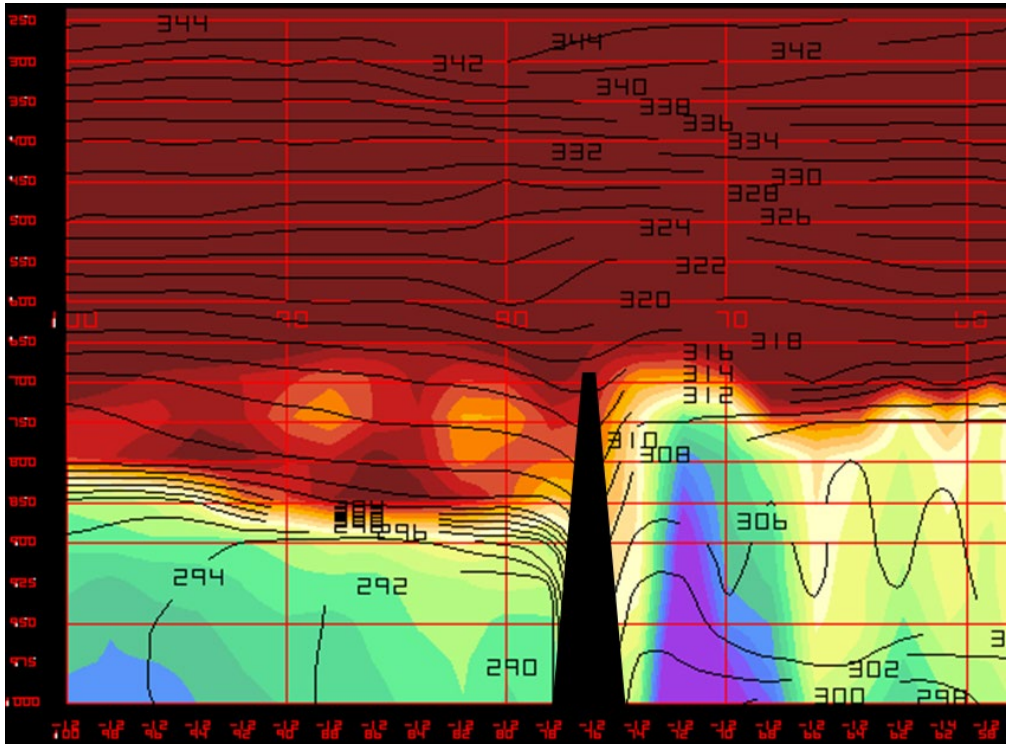
- Evaluación de la estabilidad ignorando los efectos de la humedad (considere theta-e para la humedad).
- Un aumento con la altura implica estabilidad.
- Theta aumenta con la altura de forma natural, lo que significa que la atmósfera es generalmente estable.
- **Capas Estables:** Los aumentos súbitos denotan capas estables, cuales limitan la mezcla vertical y el desarrollo vertical de la convección.

Aviación: Por lo general, es seguro volar sobre capas estables.



Evaluación de la estabilidad con secciones transversales de temperatura potencial equivalente, theta-e (Θ e)

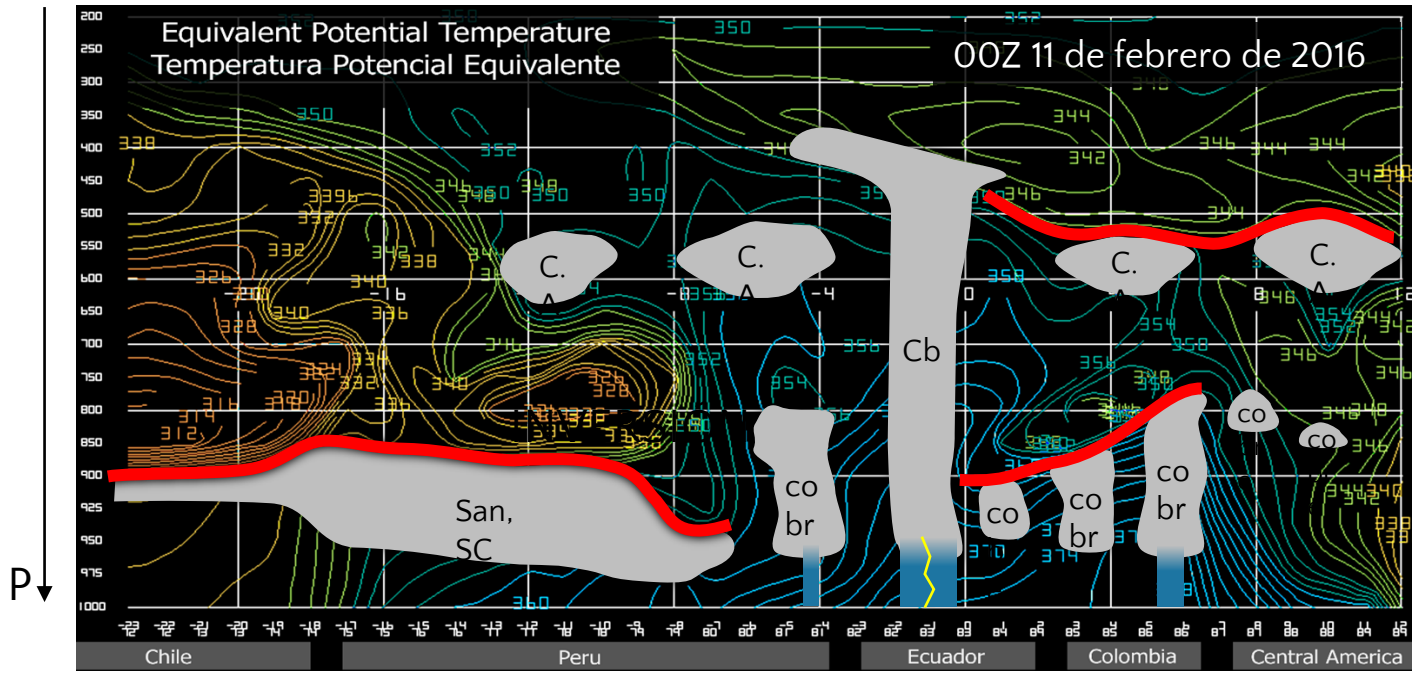
- **Definición de theta-e:** Temperatura potencial que tendría una parcela si se liberara todo su calor latente.
- **Interpretación:** Los valores más altos significan más humedad presente que podría calentar la parcela si se condensa.
- **Aplicaciones:** Por lo tanto, theta-e se puede utilizar para evaluar los efectos de la humedad.
- Las inversiones sobre el aire seco se muestran bien en theta-e, lo que lo convierte en una gran herramienta para detectar capas estables y especialmente inversiones de subsidencia.



Evaluación rápida de la Estabilidad Estática con Theta-e

- La temperatura potencial equivalente (theta-e) considera los efectos de la temperatura y la humedad en la estabilidad.
- En las secciones transversales, se captan bastante bien la presencia de capas estables y regiones donde está presente el aire seco.
- La proporción de la contribución del calor vs humedad no se puede detectar visualmente, por lo que se recomienda examinar los perfiles de temperatura y humedad en las regiones de interés.

Sección transversal Meridional Theta-e en el Pacífico Oriental

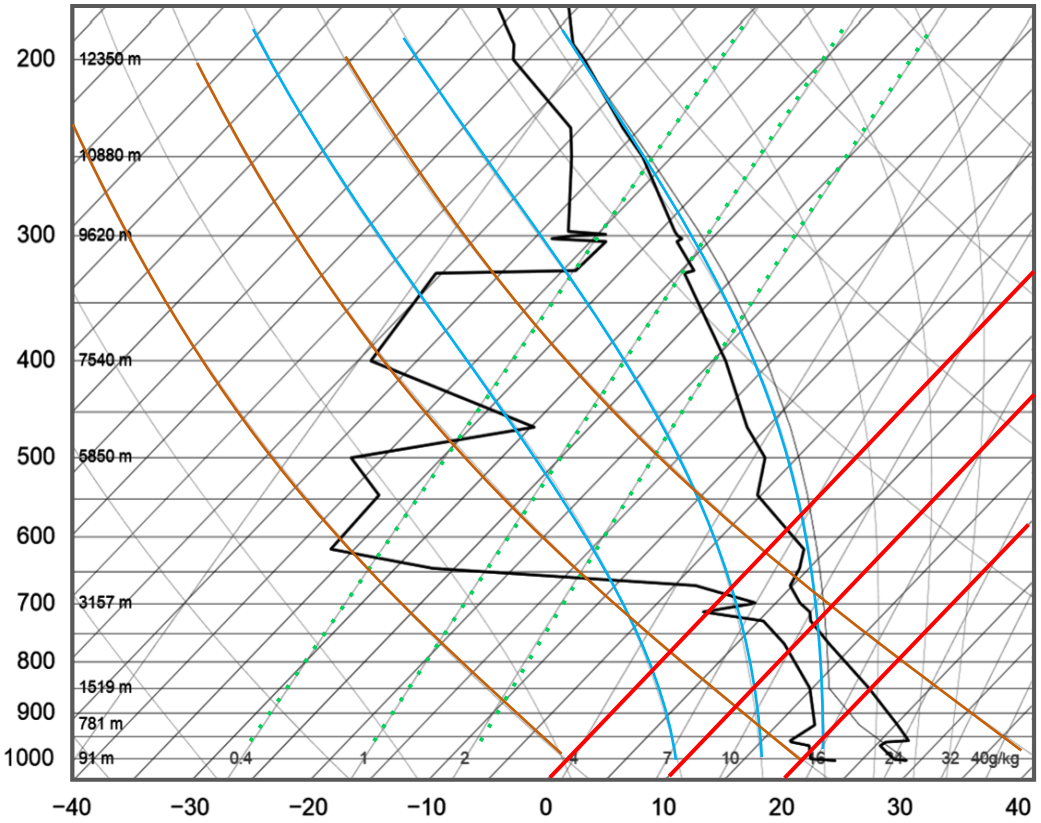


ICAO

Diagramas Termodinámicos

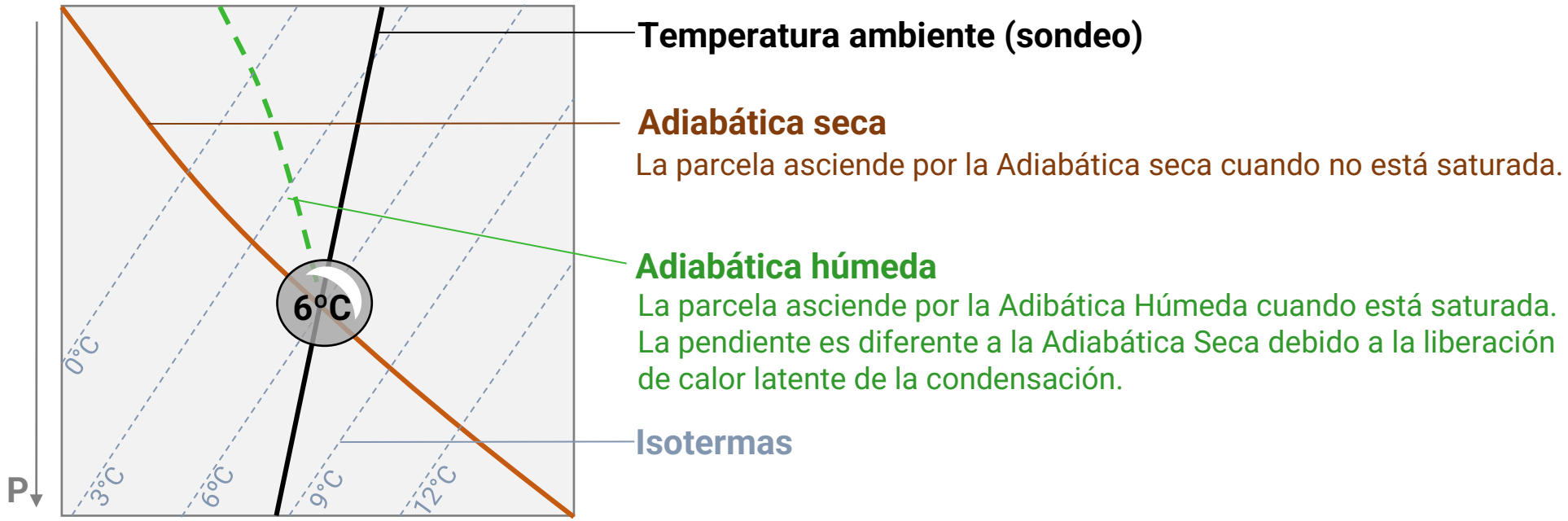
- Los perfiles verticales de temperatura y humedad se pueden trazar y analizar en un diagrama termodinámico.
- Hay varios tipos de diagramas, estamos usando el tipo llamado Skew-T.
- Skew-T usa la presión como una coordenada vertical. La temperatura está sesgada y las adiabáticas secas y húmedas se curvan. Las líneas de proporción de mezcla también están sesgadas.

Intereses de la aviación: Evalúe el potencial para el desarrollo de tormentas eléctricas



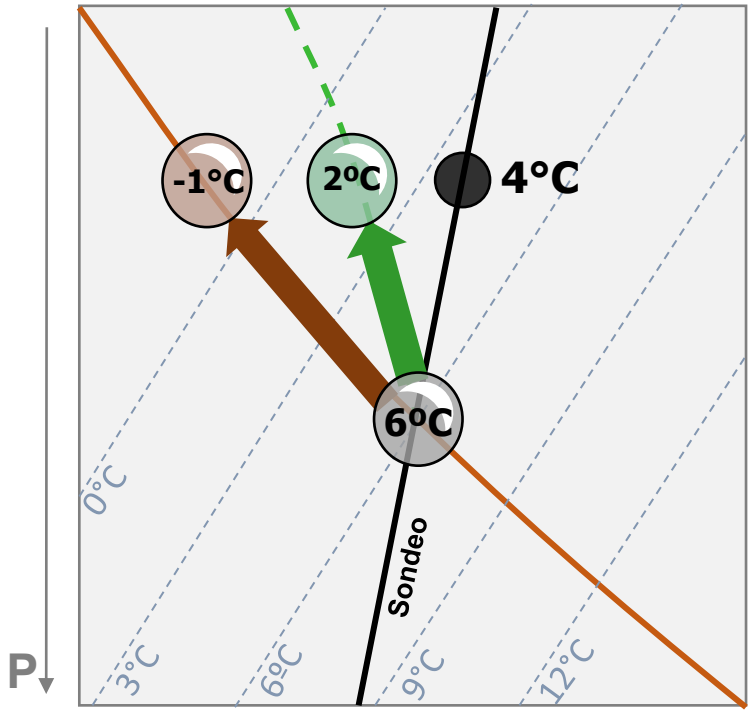
Método de Parcela para determinar la estabilidad

En un diagrama termodinámico, simulamos el desplazamiento vertical de una parcela, asumiendo que no se mezcla con el medio ambiente. Después de desplazarlo, la temperatura de la parcela se compara con la del ambiente (sondeo). Una parcela más cálida implica inestabilidad y el desarrollo de ascenso.



Estabilidad

- Presente cuando las temperaturas ambientales disminuyen poco (o incluso aumentan) con la altura.

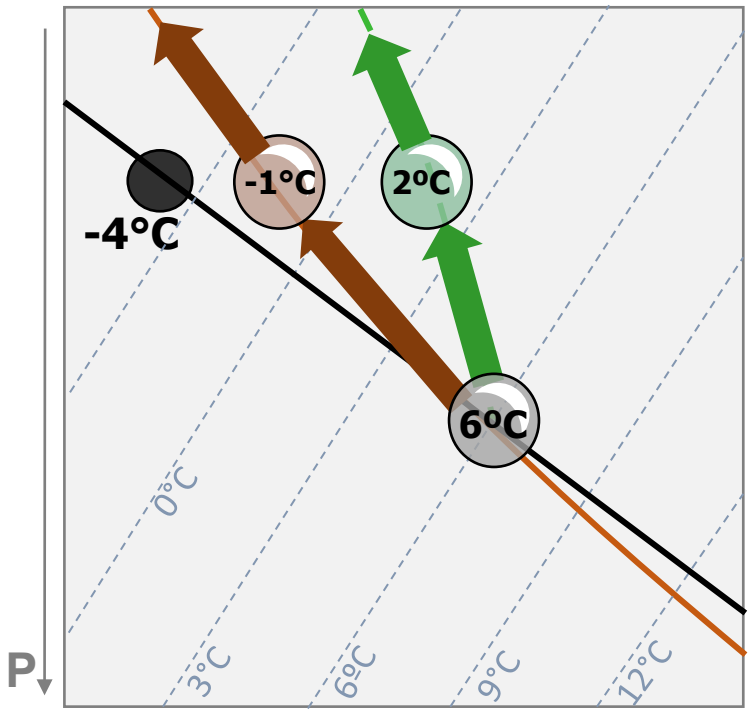


Ejemplo de Estabilidad

- Cualquier desplazamiento hacia arriba produce una parcela más fría (más densa) que el medio ambiente.
- Su reacción será entonces hundirse hasta el nivel en que las temperaturas se igualen (la ubicación inicial).
- Indicador clave: El sondeo se enfría con la altura a una tasa menor que la adiabática húmeda.

Inestabilidad

- Cuando las temperaturas ambientales disminuyen con la altura a un ritmo mayor que la disminución en la adiabática seca.

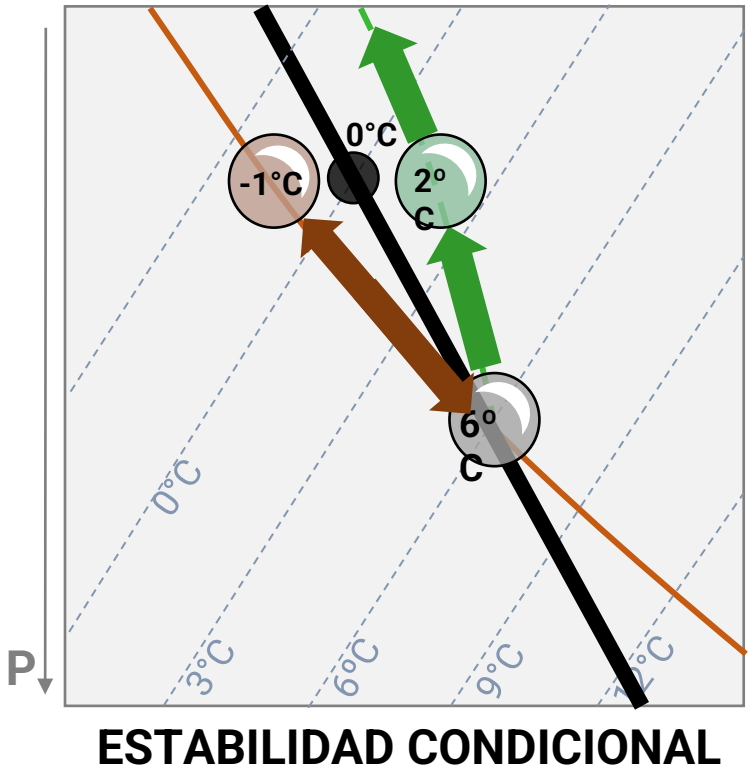


Ejemplo de inestabilidad

- Cualquier desplazamiento hacia arriba produce una parcela más cálida (más liviana) que el medio ambiente.
- Su reacción será entonces seguir ascendiendo hasta encontrar un nivel donde su temperatura se vuelva similar a la temperatura ambiental. Esto da como resultado un ascenso continuo de las parcelas, mientras que las parcelas ambientales descienden, desarrollando convección.
- Indicador clave: La temperatura de sondeo disminuye rápidamente con la altura, a un ritmo mayor que el de la adiabática seca.

Estabilidad Condicional

Cuando está determinada por el contenido de humedad



ESTABILIDAD CONDICIONAL

Si la pendiente del sondeo se encuentra entre la adiabática húmeda y la seca, la estabilidad depende de si la parcela está saturada o no.

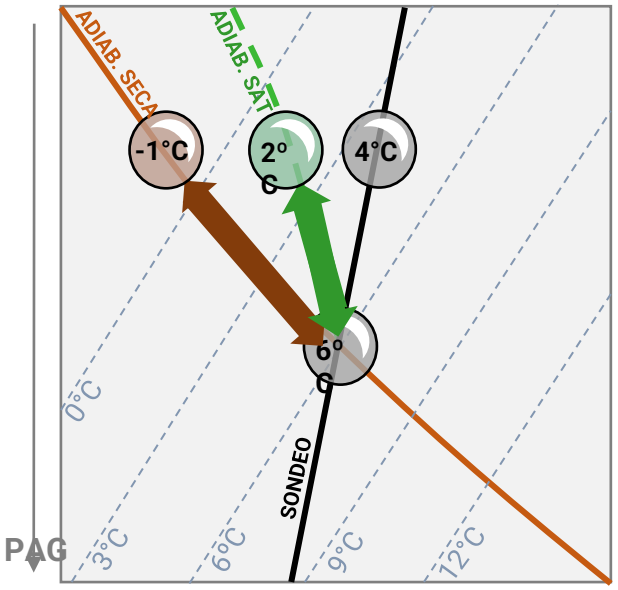
Saturada: parcela más cálida significa que el ascenso continuará y se desarrollará convección.

No saturado: La parcela se vuelve más fría por lo que volverá a su posición original. Esta situación es estable y no activa ninguna convección.

Nota: La humectación de la parcela (p. ej., advección de humedad, convergencia del flujo de humedad, etc.) podría cambiar un entorno estable a uno inestable.

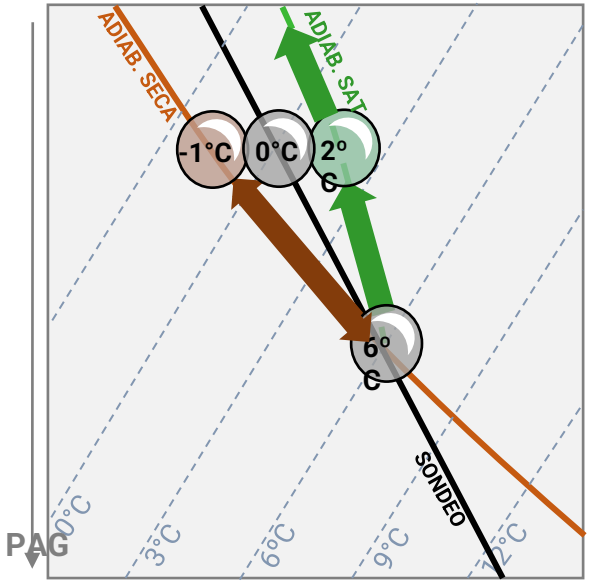
Intercomparación

Estabilidad



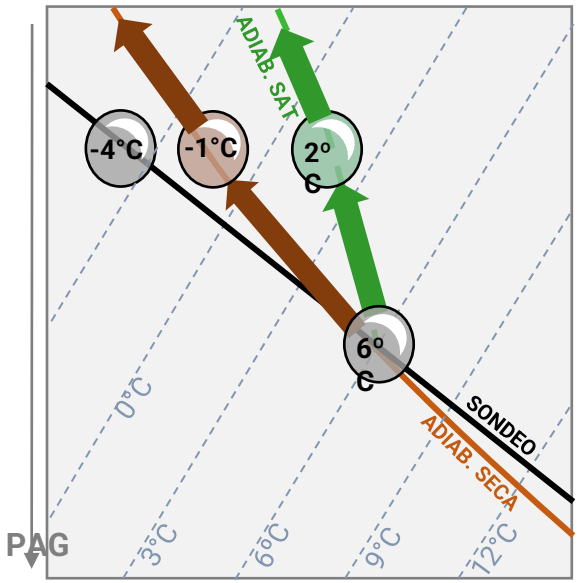
T_{sondeo} disminuyendo con la altura a una razón menor que la temperatura de la adiabática saturada

Estabilidad Condicional



T_{sondeo} disminuyendo con la altura a una razón que cae entre la pendiente de la adiabática seca y la de la saturada

Inestabilidad

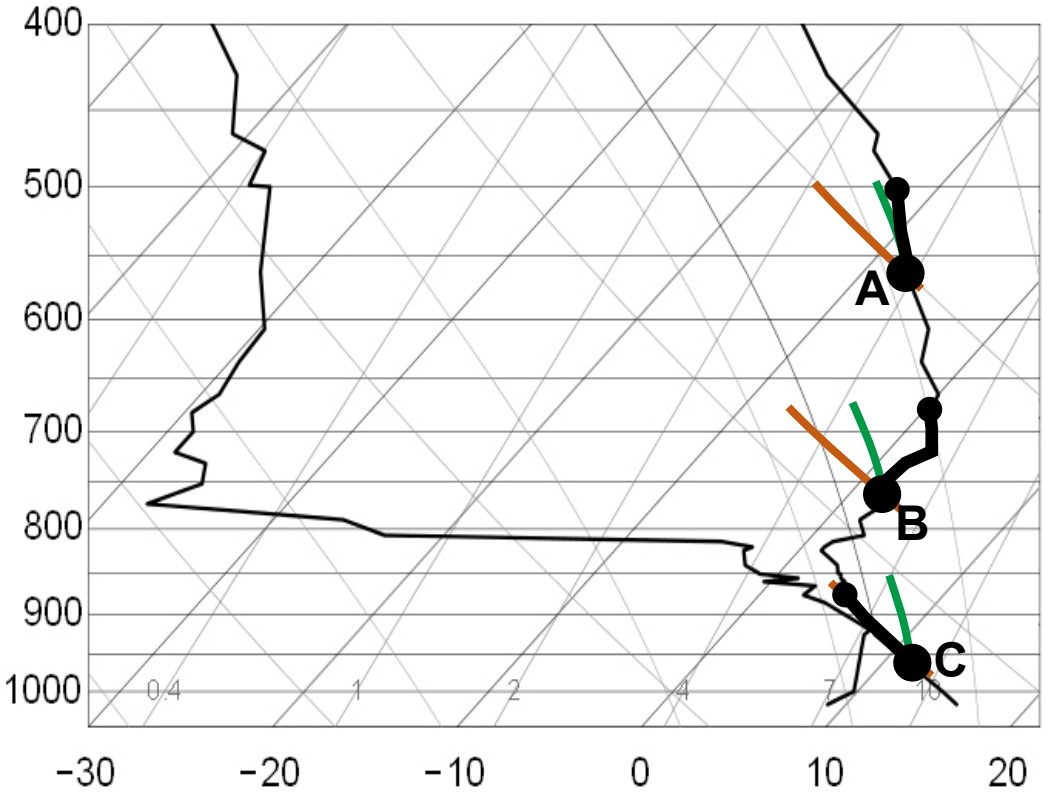


T_{sondeo} disminuyendo con la altura a una razón mayor que la temperatura de la adiabática seca

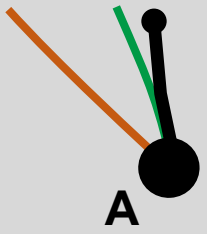
El método de parcela se centra en un nivel, no tiene en cuenta todo el sondeo.

Ejemplo de método de parcela

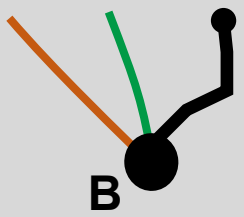
Ejemplo: Sondeo de convección llana (Cayo Hueso, Florida, 04-mar-2013 00z)



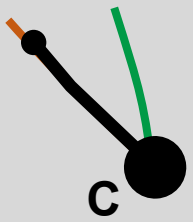
Notar que la parcela ascenderá por la adiabática seca por estar desaturada en A, B y C



ESTABLE
Al ascender la parcela siempre será más fría y densa que el ambiente.



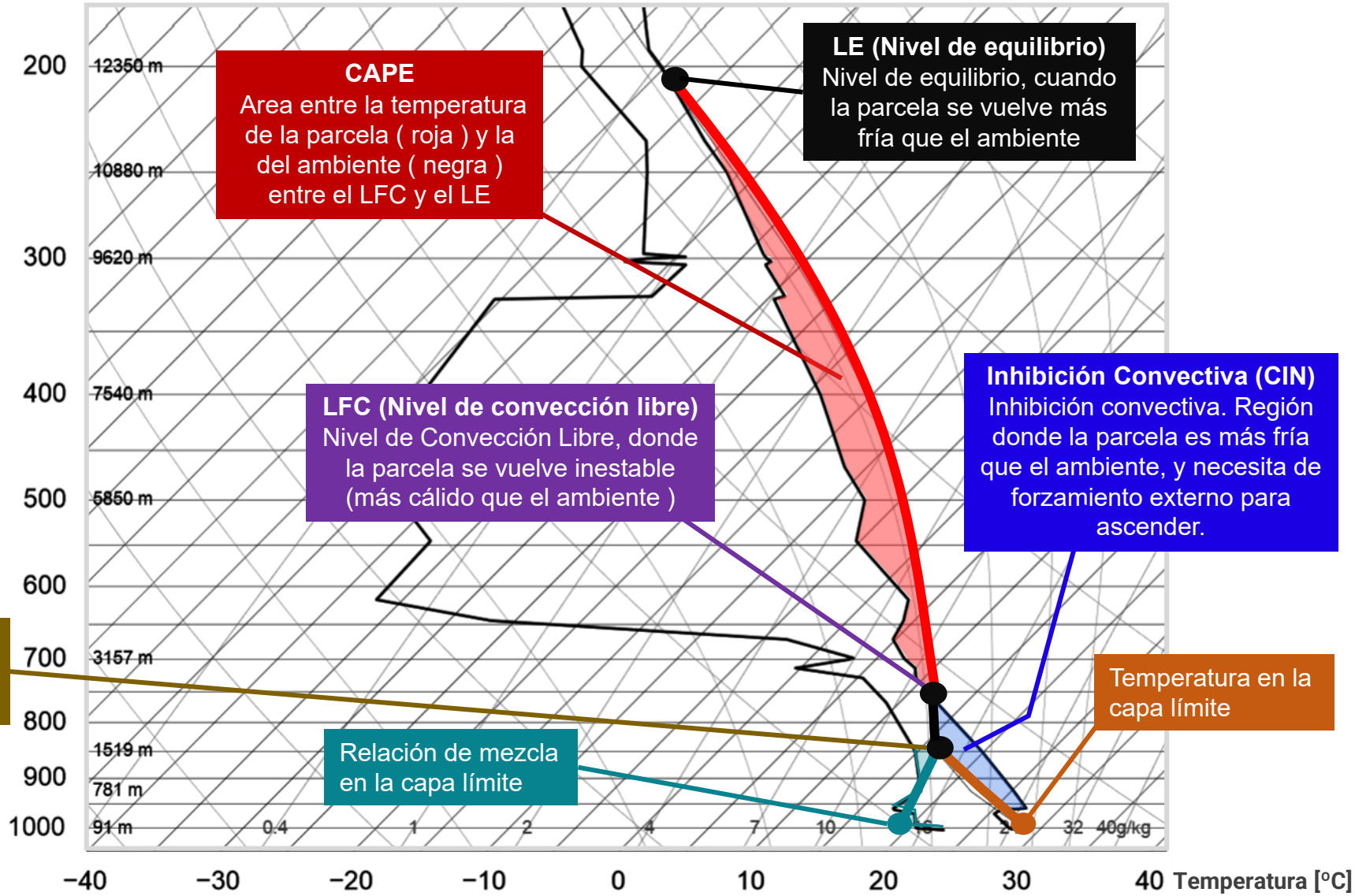
MUY ESTABLE
Al ascender la parcela siempre será más fría y densa que el ambiente.



INESTABLE/NEUTRO
Al ascender la parcela será más cálida o tendrá la misma temperatura que el medio ambiente.

Levantar una Parcela usando todo el sondeo

Sondeo
Resistencia, AR
Universidad de Wyoming
2014 8 de diciembre 12z



CAPE
Area entre la temperatura de la parcela (roja) y la del ambiente (negra) entre el LFC y el LE

LE (Nivel de equilibrio)
Nivel de equilibrio, cuando la parcela se vuelve más fría que el ambiente

LFC (Nivel de convección libre)
Nivel de Convección Libre, donde la parcela se vuelve inestable (más cálido que el ambiente)

Inhibición Convectiva (CIN)
Inhibición convectiva. Región donde la parcela es más fría que el ambiente, y necesita de forzamiento externo para ascender.

LCL (nivel de condensación de elevación)
Nivel de Condensación por Levantamiento, donde se satura la parcela que aumenta.

Temperatura en la capa límite

Relación de mezcla en la capa límite

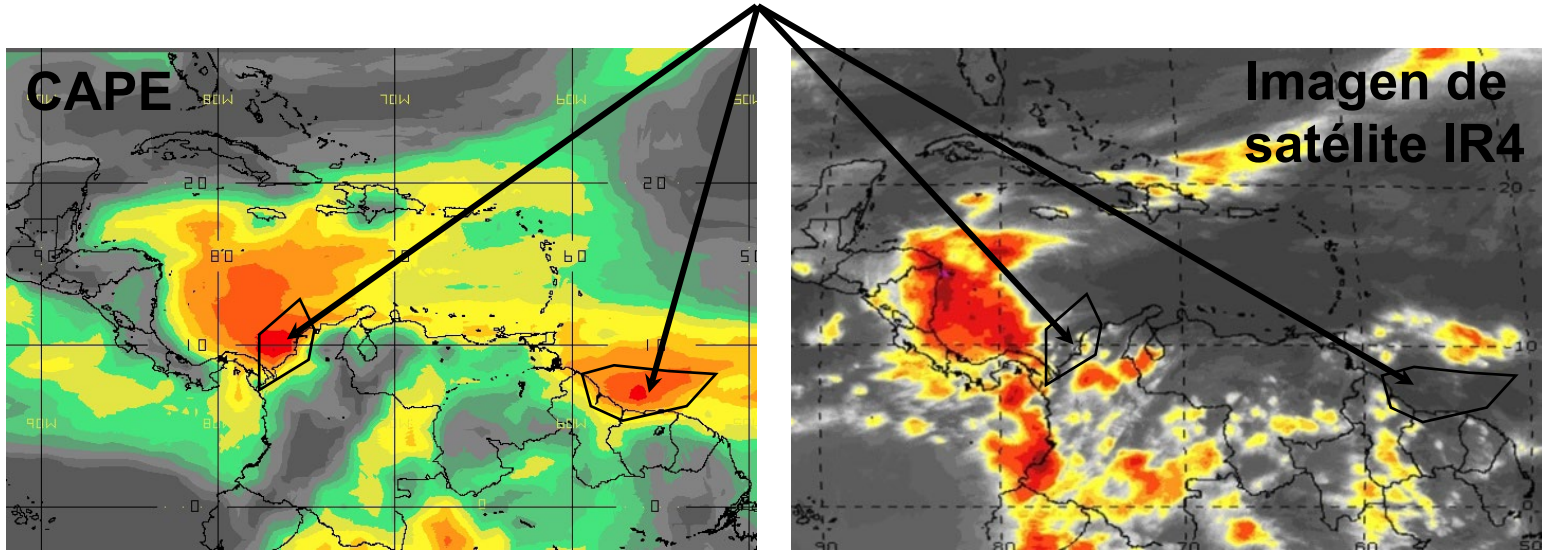
CAPE

- CAPE es "Energía potencial Convectiva Disponible" en una columna.
- Es la cantidad máxima de energía que podría utilizar una parcela levantada de la capa límite.
- Puede calcularse por el área entre la región del sondeo ubicada entre la curva de ascenso de la parcela y la curva de temperatura atmosférica, cuando la temperatura de la parcela es superior a la de la atmósfera.

Valores de CAPE en J/Kg	**Potencial de convección**
0	**Estable**
0-1000	**Marginalmente inestable**
1000-2500	**Moderadamente inestable**
2500-3500	**muy inestable**
3500+	**extremadamente inestable**

Limitaciones del CAPE

- Es necesario tener en cuenta la inhibición convectiva, ya que limitará el desarrollo de la convección para las parcelas de la capa superficial/límite.
- Puede haber diferentes tipos de CAPE, dependiendo de cómo se levanta la parcela (en qué capa de la atmósfera se origina).
- CAPE no funciona bien en el trópico. Los valores de CAPE pueden ser muy grandes y se desarrolla poca actividad de lluvias y tormentas.



02

Índices de estabilidad

¿Qué son los índices de estabilidad?

Son cantidades que estiman el potencial de desarrollo de movimiento vertical y convección en función a la estabilidad de la columna atmosférica, y permiten al analista evaluar rápidamente el potencial de formación de tormentas eléctricas en amplias regiones, en vez de tener que observar perfiles termodinámicos independientes.

Ignoran los efectos de la fuerza dinámica y mecánica. Por eso usamos el término “estabilidad estática”.

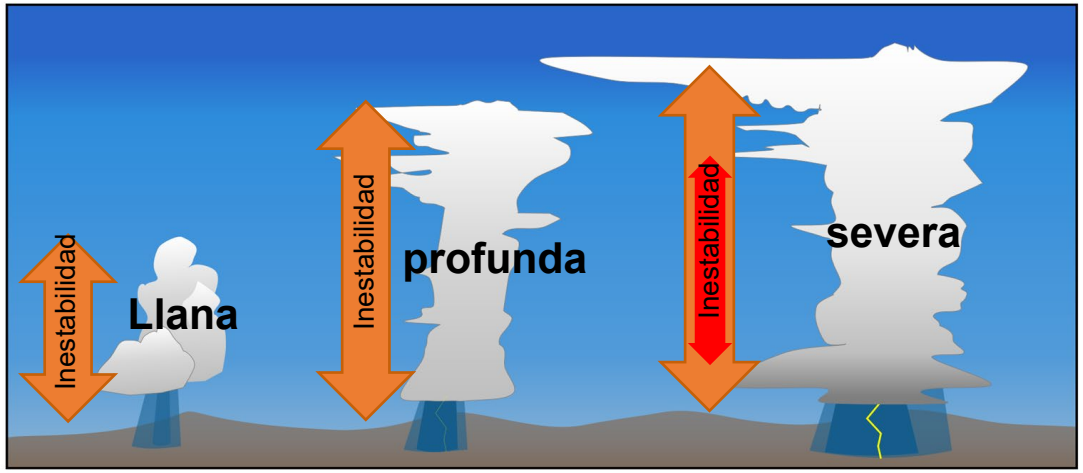
Hay varios que difieren en sus métodos de cálculo.

Índices tradicionales:

- Índice elevado (LI)
- Índice de estabilidad de Showalter (SSI)
- Total Totales (TT)
- Índice K (K)

¿Por qué son útiles los índices de estabilidad?

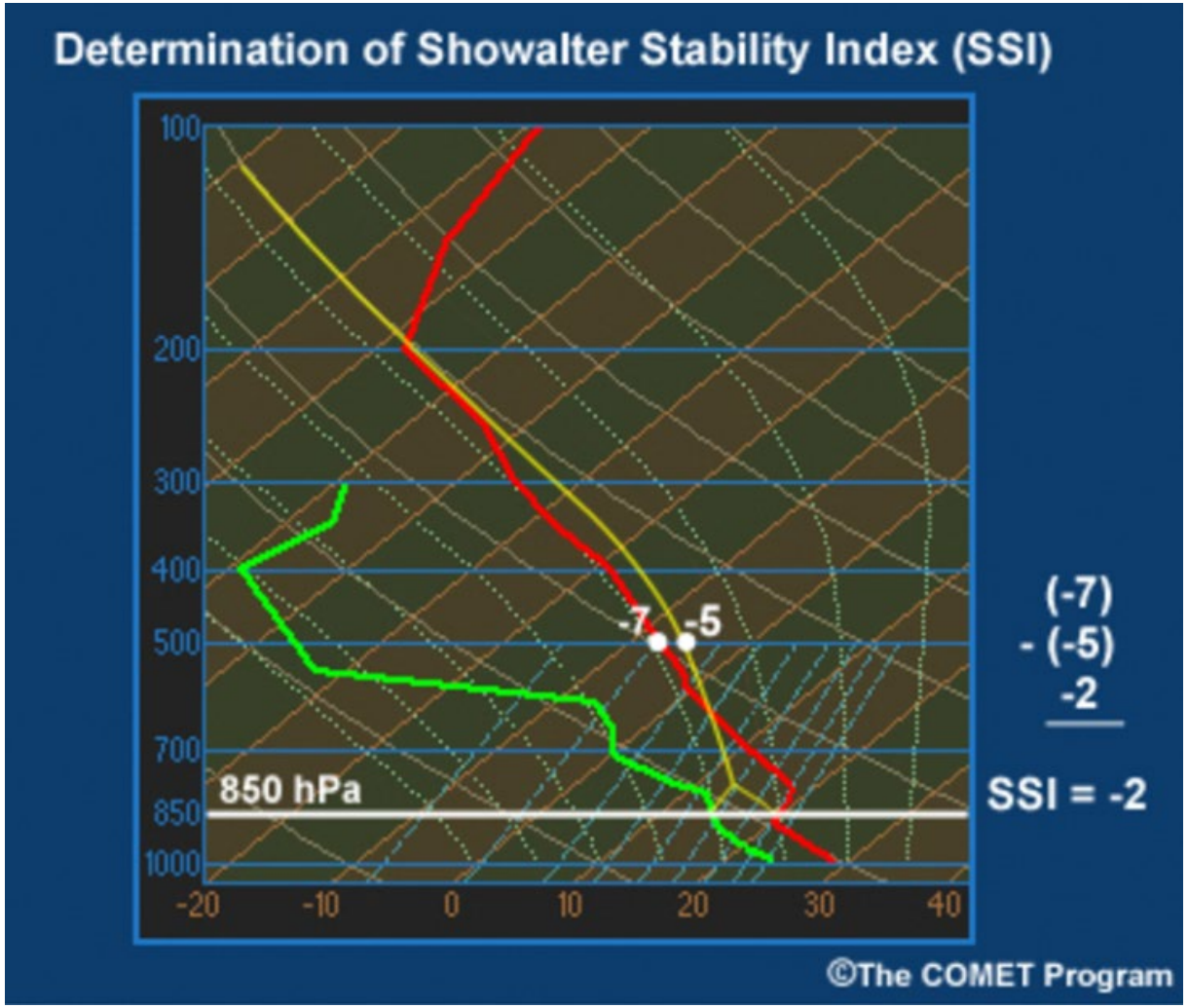
- Ayudan a determinar cuantitativa y rápidamente el potencial para el desarrollo de diferentes tipos de convección.
- Permiten evaluar el potencial de convección llana, convección profunda o incluso convección severa sin tener que mirar los perfiles de las estaciones uno por uno.
- Es mejor usarlos junto con un análisis del flujo.



Impactos de la aviación: saber dónde se pueden formar tormentas eléctricas es útil para la planificación de rutas y las operaciones en tierra.

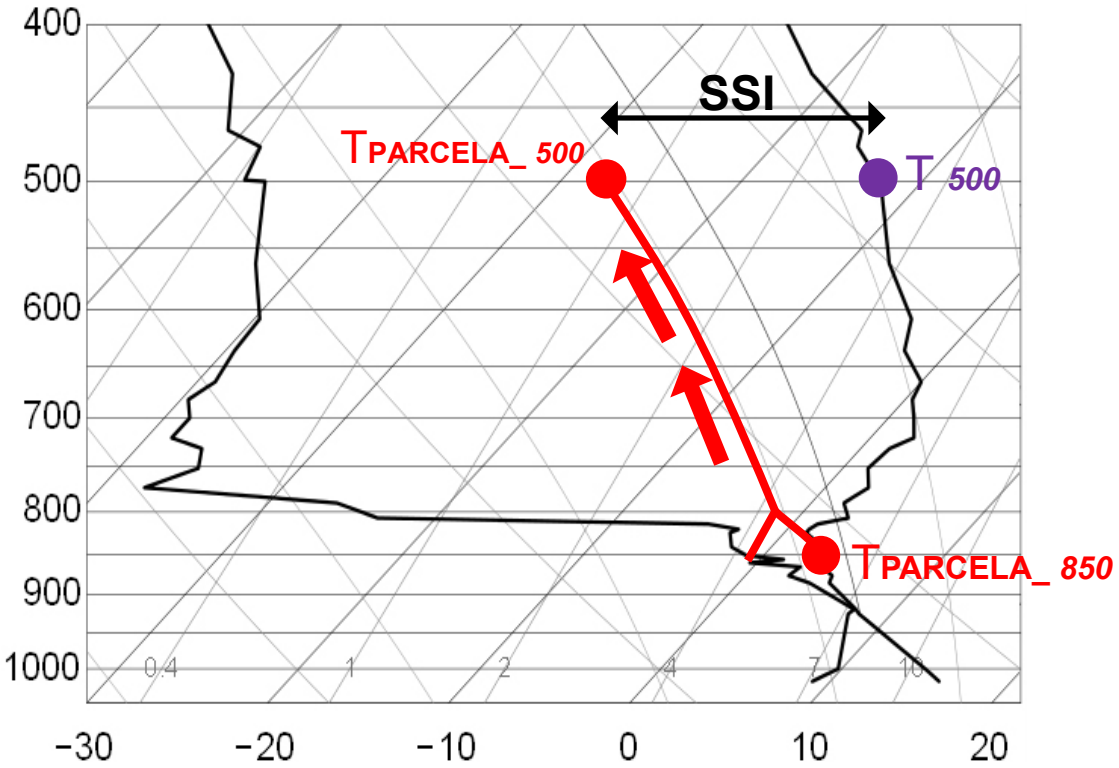
Índice de Showalter (SSI)

- Uno de los primeros en desarrollarse.
- Se calcula elevando una parcela de 850 hPa a 500 hPa:
  - Utiliza T y Td en 850 hPA para encontrar el LCL.
  - Desde el LCL, la parcela se eleva adiabáticamente húmeda a 500 hPa.
  - Luego compara las temperaturas de la parcela y las del ambiente a 500 hPa.



Índice de Showalter (SSI)

SSI = T ambiente a 500 hPa — Parcela T a 500 hPA

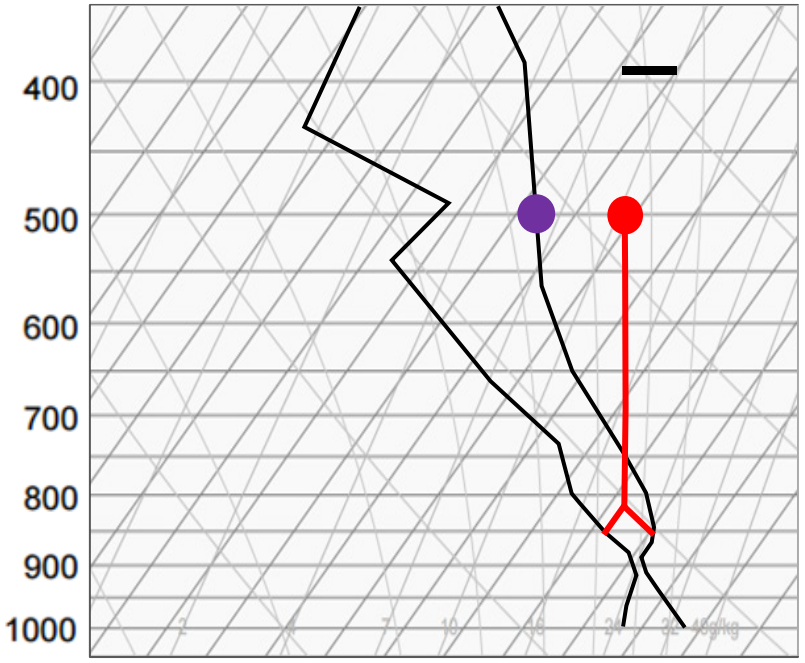


Índice de Showalter (SSI)

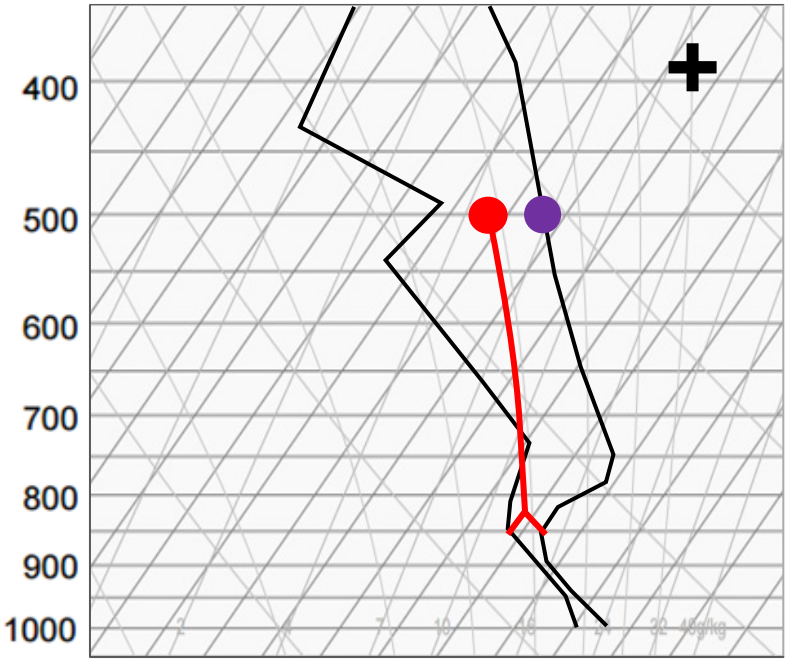
- Mientras más negativo, más inestable, lo que significa que la parcela está más caliente que el ambiente.

SSI = $T_{500} - T_{PARCELA_500}$

NEGATIVO: INESTABLE

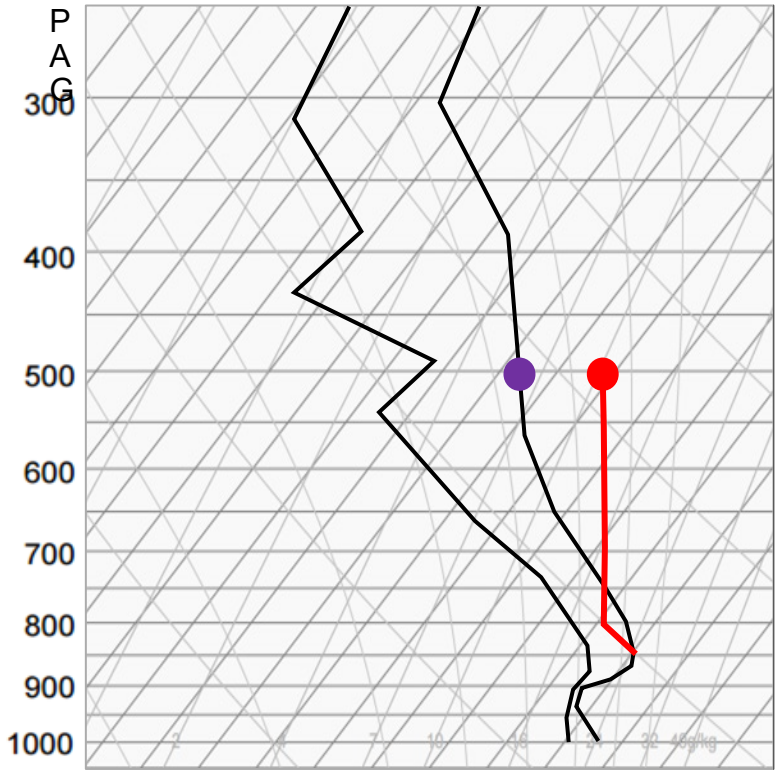


POSITIVO: ESTABLE



Índice de Showalter (SSI)

- Funciona para convección elevada, cuando hay una capa fría y poco profunda por debajo de 850 hPa.
- No funciona cuando la capa fría supera los 850 hPa.
- No considera calentamiento diurno.
- No funciona bien si la estación se encuentra por encima de 850 hPa.



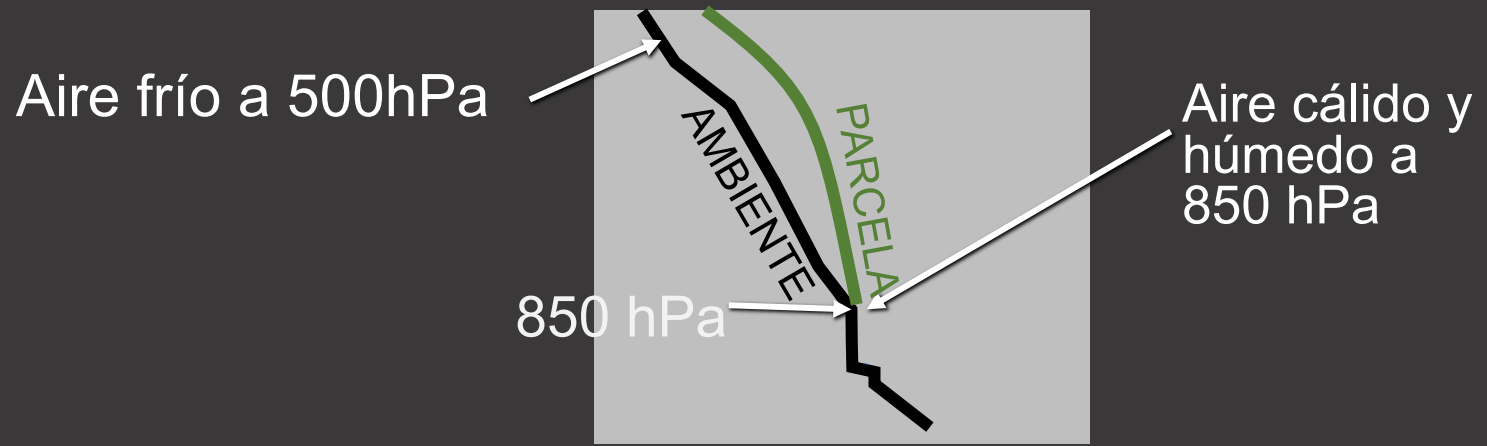
SSI = ¿Positivo o Negativo?

¿Estable o inestable?

Valores SSI

- Positivo: Estable
- 0 a -4 : Marginalmente inestable
- -4 a -6 : Muy inestable
- <= - 8 : Inestabilidad extrema

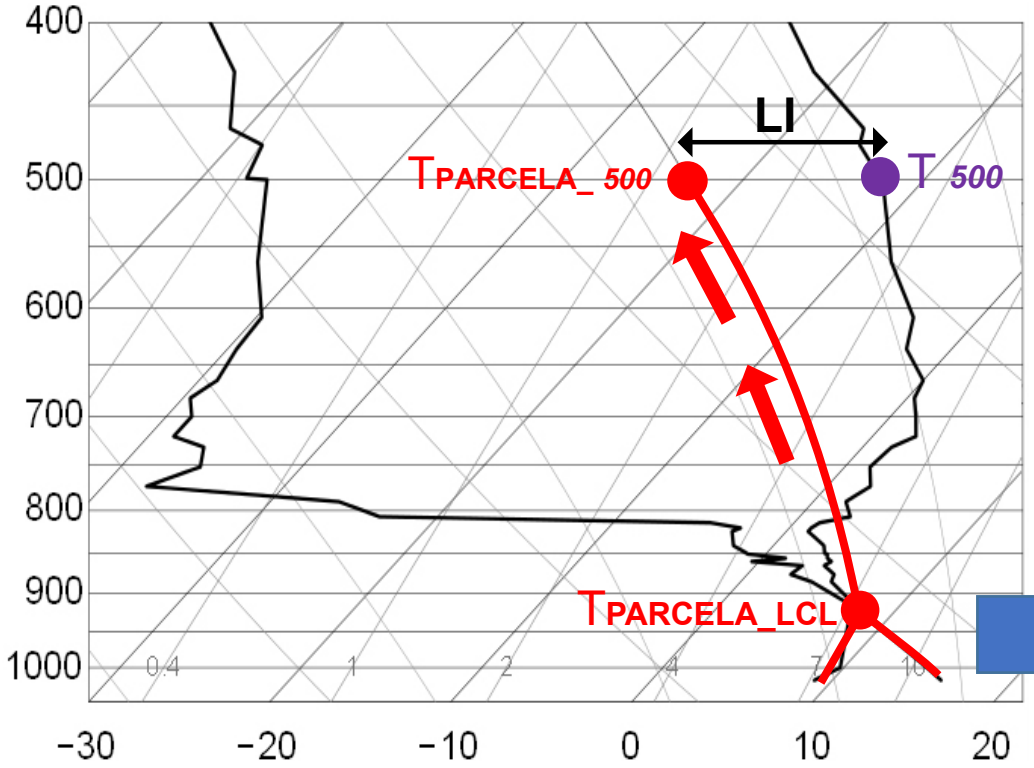
Para inestabilidad (negativo):



Índice Elevado (LI)

Similar a SSI, pero usa una parcela que se eleva desde la capa límite

LI = T Ambiente a 500 hPa − Temperatura de la Parcela a 500 hPa



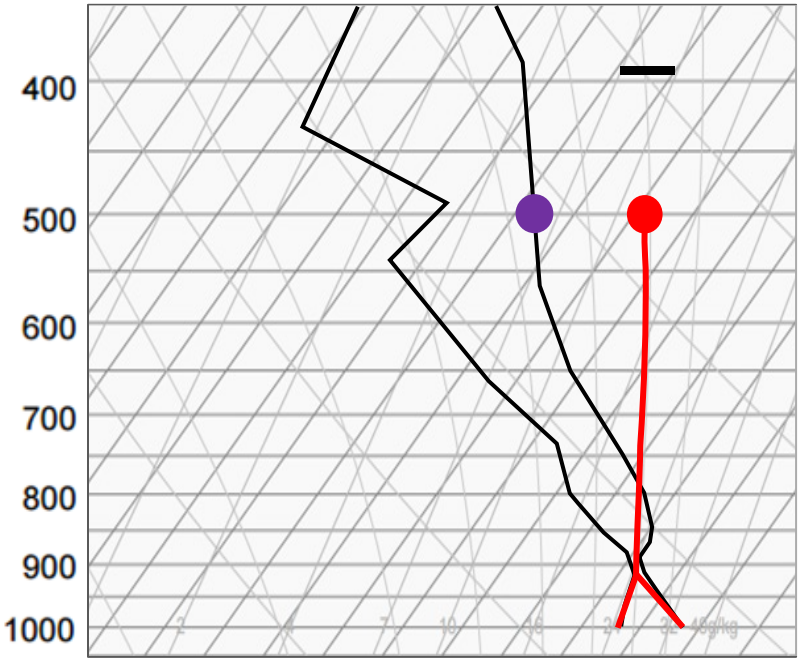
Perfiles de temperatura y humedad en la materia de la capa límite.

Índice elevado (LI)

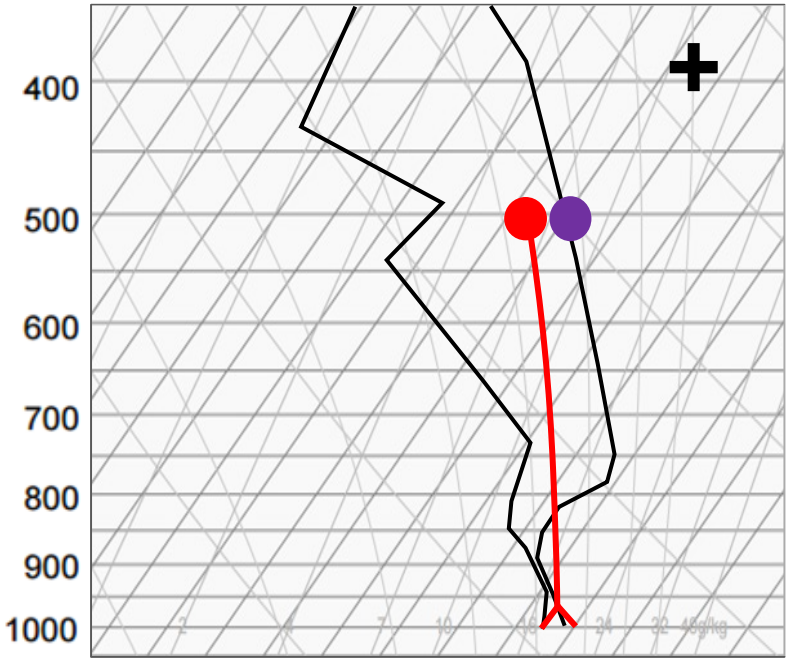
- Cuanto más negativo, más inestable.
- Limitaciones:
  - Considera sólo dos niveles.
  - Se puede aplicar en el trópico, pero cerca de las vaguadas de altura.

$$LI = T_{500} - T_{PARCELA_500}$$

NEGATIVO: INESTABLE



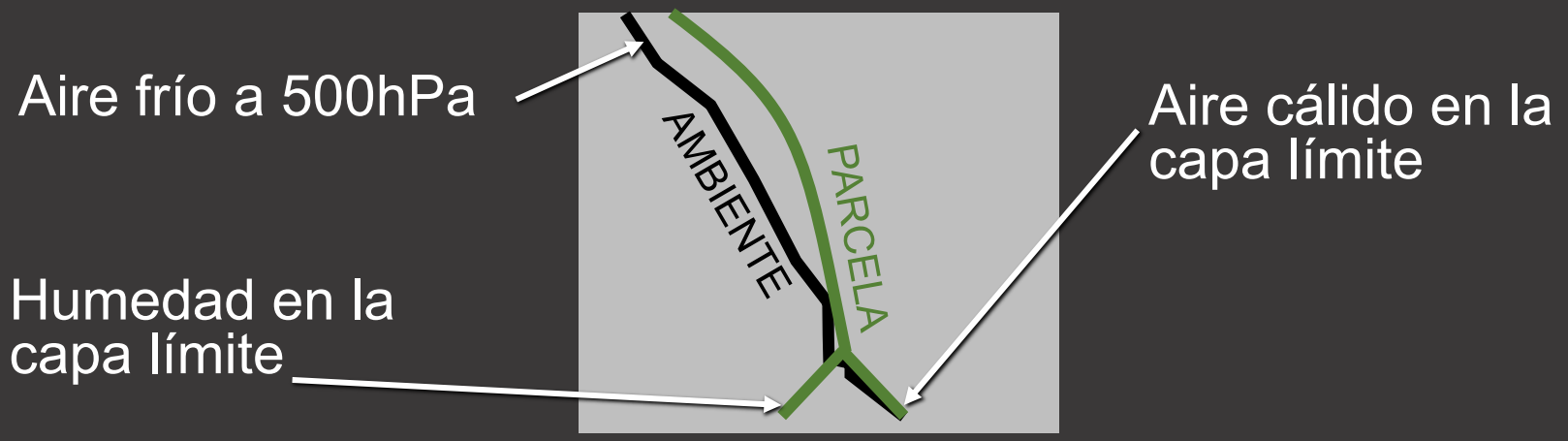
POSITIVO: ESTABLE



Índice elevado (LI)

- Positivo: Estable
- 0 a -4: Marginalmente inestable
- -4 a -6: Muy inestable
- <= -8: inestabilidad extrema

Para inestabilidad (negativo):



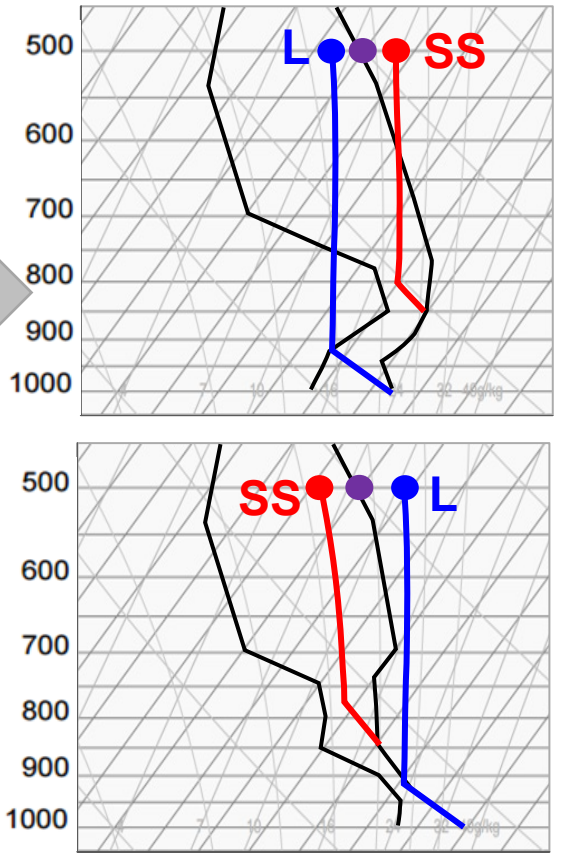
Comparación Levantado vs Showalter

A) **LI> 0 & SSI>0** = Muy estable.

B) **LI> 0 & SSI<0** = Capa límite estable, pero la atmósfera se vuelve menos estable con la altura.

C) **LI< 0 & SSI>0** = Capa límite inestable, pero posible inversión por encima de 850 hPa.

D) **LI< 0 & SSI<0** = Inestabilidad en la capa profunda.



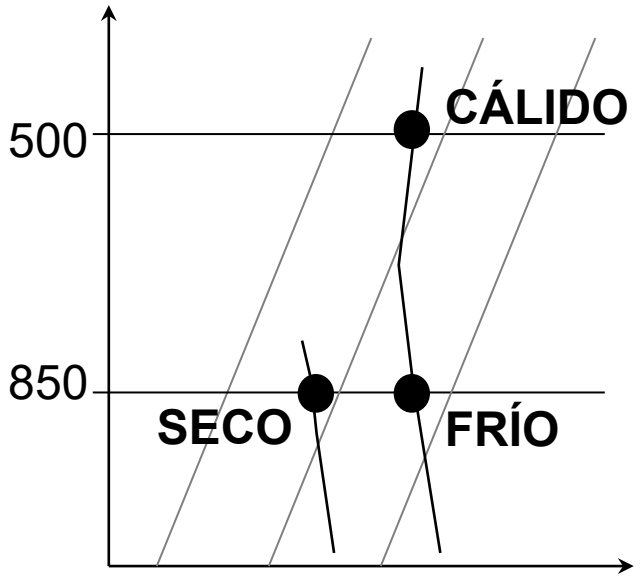
Índice TOTAL-TOTALES (TT)

Utiliza una temperatura de 500 hPa y tanto la temperatura como la temperatura de punto de rocío a 850 hPa.

$$TT = (T_{850} + T_{d\,850}) - (2*T_{500})$$

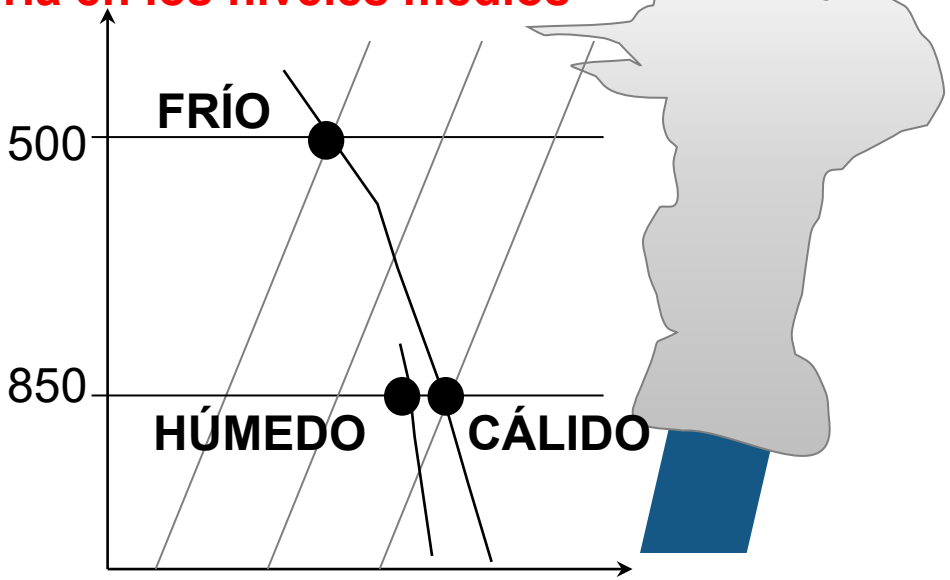
Estable (valores bajos)

Valores más bajos cuando la atmósfera está fría y seca en los niveles bajos.



Inestable (valores altos)

Valores más altos cuando la atmósfera está húmeda y cálida en los niveles bajos y fría en los niveles medios



Índice TOTAL-TOTALES (TT)

PROS

- Fácil de calcular
- Funciona bien en las latitudes medias, y a veces, en el trópico.
- La interpretación es similar a SSI.

Limitaciones

- Utiliza sólo dos niveles.
- No funciona en elevaciones altas (Psfc >850 hPa).
- Problemas cuando se presentan inversiones entre estos niveles.
- Demasiado alto en masas de aire post-frontales.

Índice TOTAL-TOTALES (TT)

TT	Evento
44	Tormentas
50	Tormentas Severas Posibles
55 o más	Alto potencial de tormentas severas

Índice K

$$K = (T_{850} - T_{500}) + [T_{d\,850} - (T_{700} - T_{d\,700})]$$

Gradiente de temperatura vertical (estabilidad)	Contenido de humedad

- El índice K funciona mejor en el Trópico porque considera el contenido de humedad a 700 hPa.
- Mejor que el SSI, LI y TT para masas de aire marítimo tropical y para tormentas de masas de aire.

CIMH (Barbados) descubrió que las tormentas eléctricas son favorecidas cuando

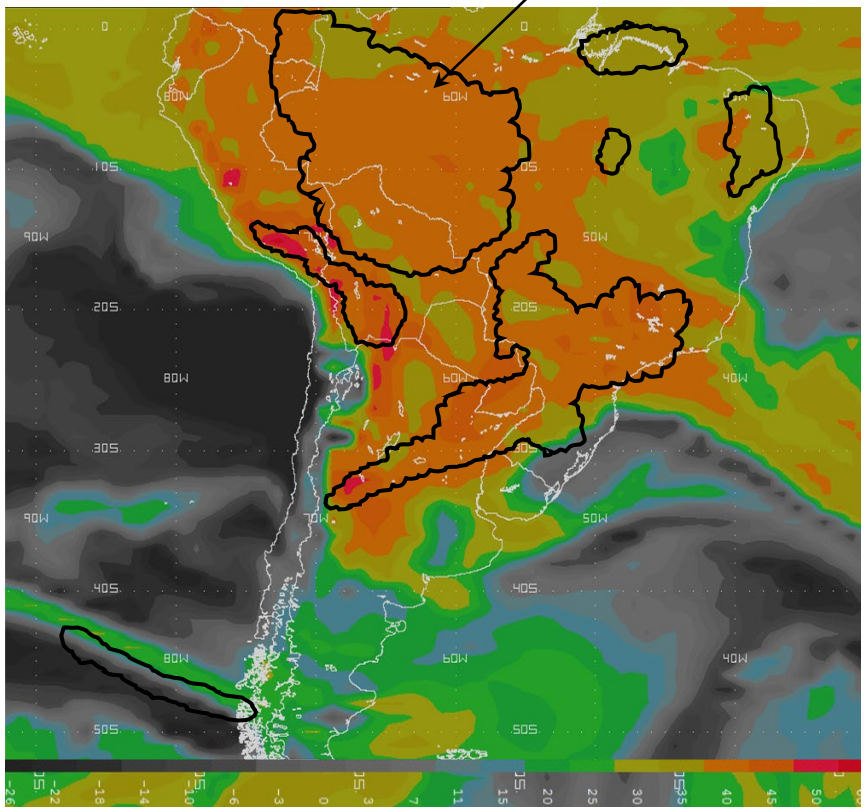
- Norte del Caribe K > 24
- Sur del Caribe, Sudamérica K > 30

Valores del K
(Latitudes Subtropicales y Medias)

- 15 – 25 = Bajo potencial convectivo
- 26 – 39 = Potencial convectivo moderado
- +40 = Alto potencial convectivo

K en Sudamérica (2016Feb1600Z)

ÁREAS CON CONVECCIÓN PROFUNDA:
El K tiende a sobreestimar la extensión de áreas de convección



K GFS_Análisis

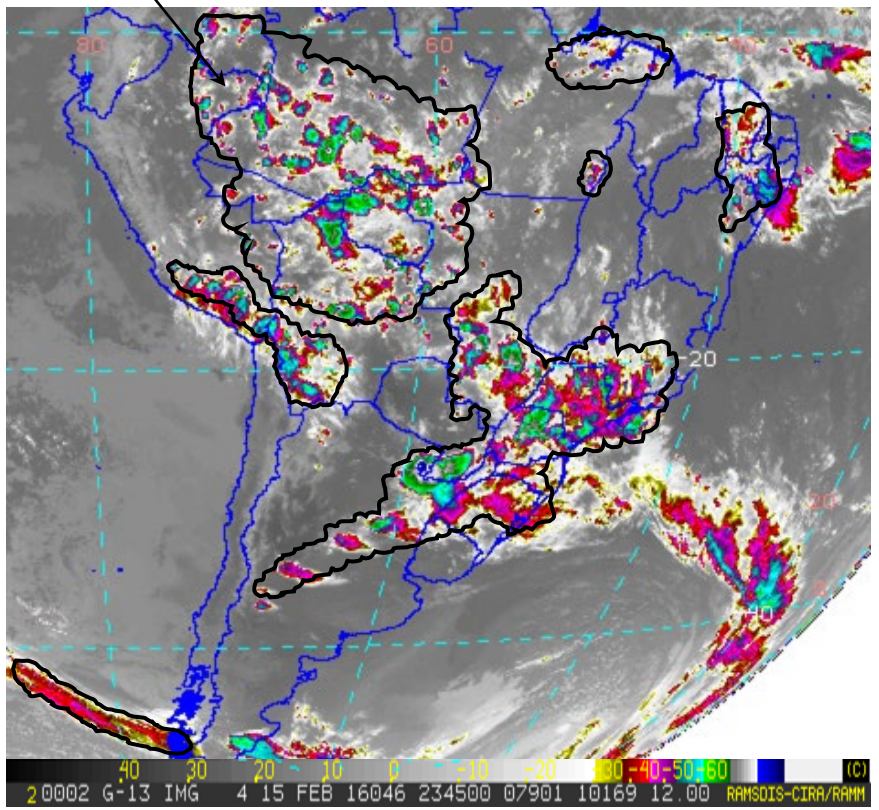


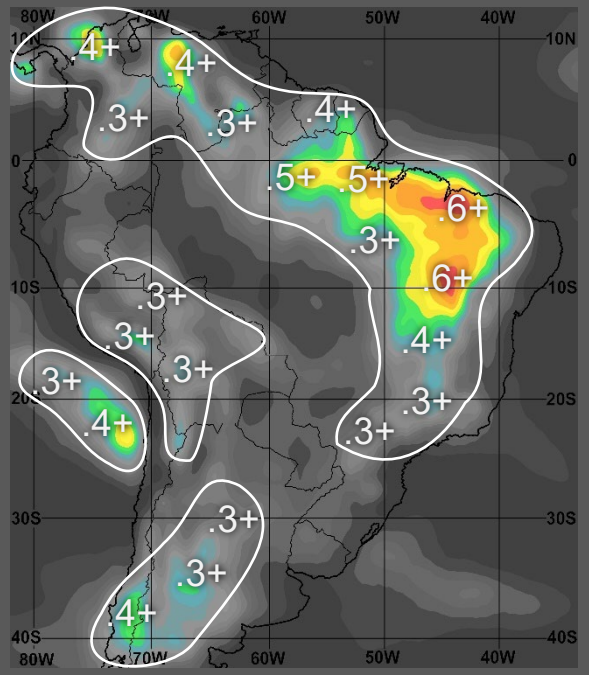
Imagen IR4

Habilidad de K en Sudamérica

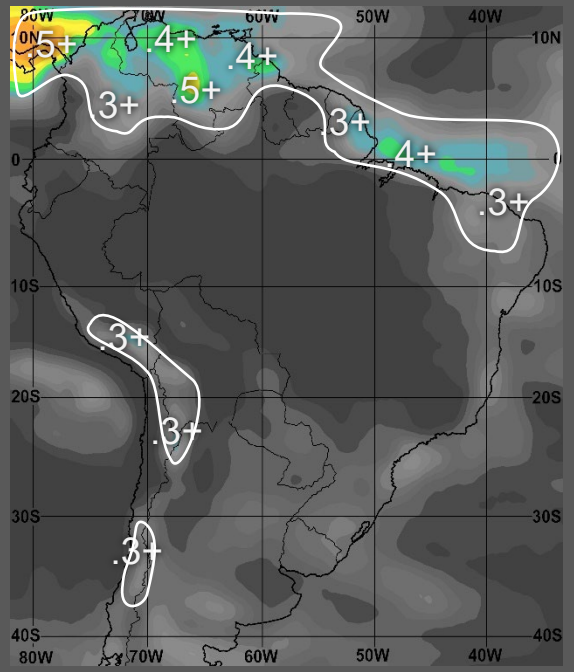
r^2, Índice-OLR

Fracción de la variancia de OLR compartido con cada índice

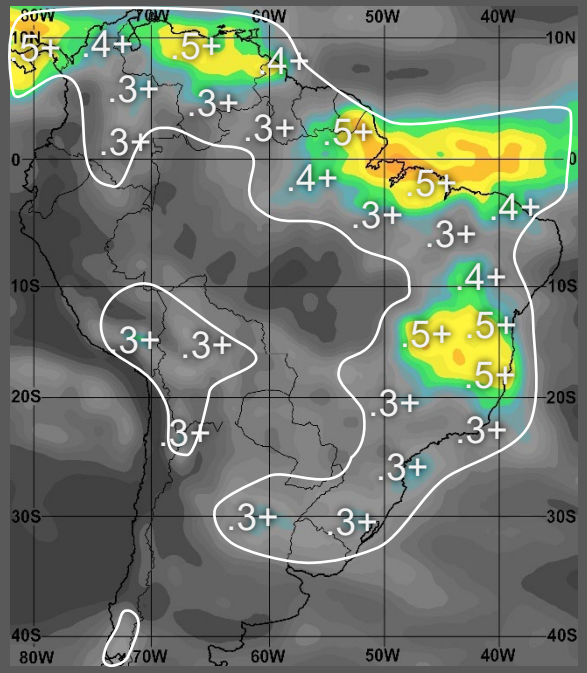
Levantado

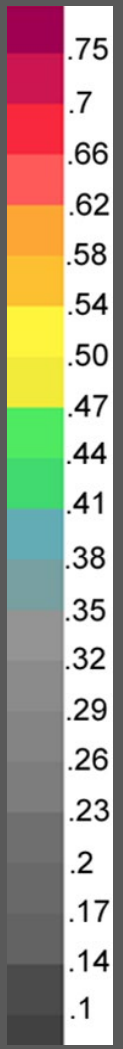


Total-Totales



K





Comparación con promedios diarios,
periodo oct 2013-mar 2014

03

El Índice Gálvez-Davison (GDI)

El Índice Gálvez-Davison (GDI)

¿Qué es el GDI?

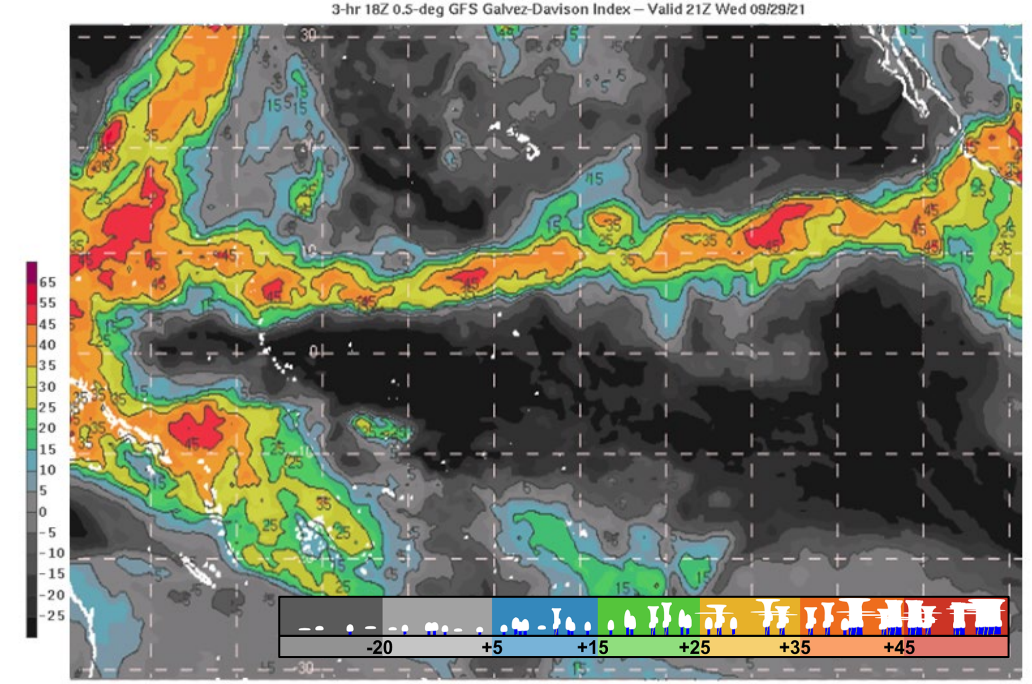
- Es un **índice termodinámico** desarrollado por WPC International Desks en 2014, para mejorar los pronósticos del régimen de convección de los vientos alisios.

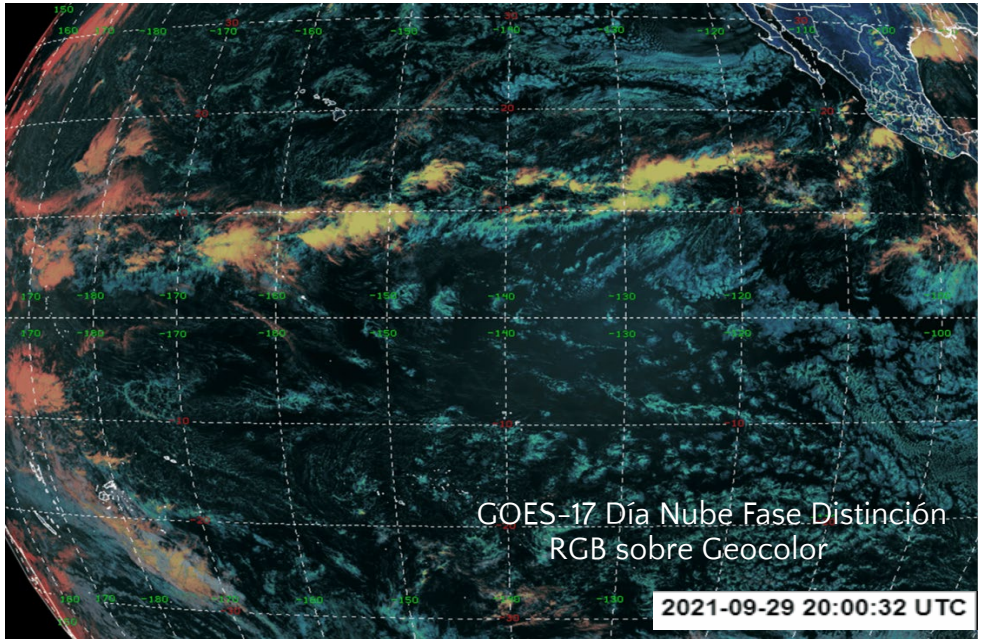
- Es una **herramienta de diagnóstico** que se basa en gran medida en la temperatura potencial equivalente (theta-e). Destaca:

(1) Disponibilidad de calor y humedad en la columna

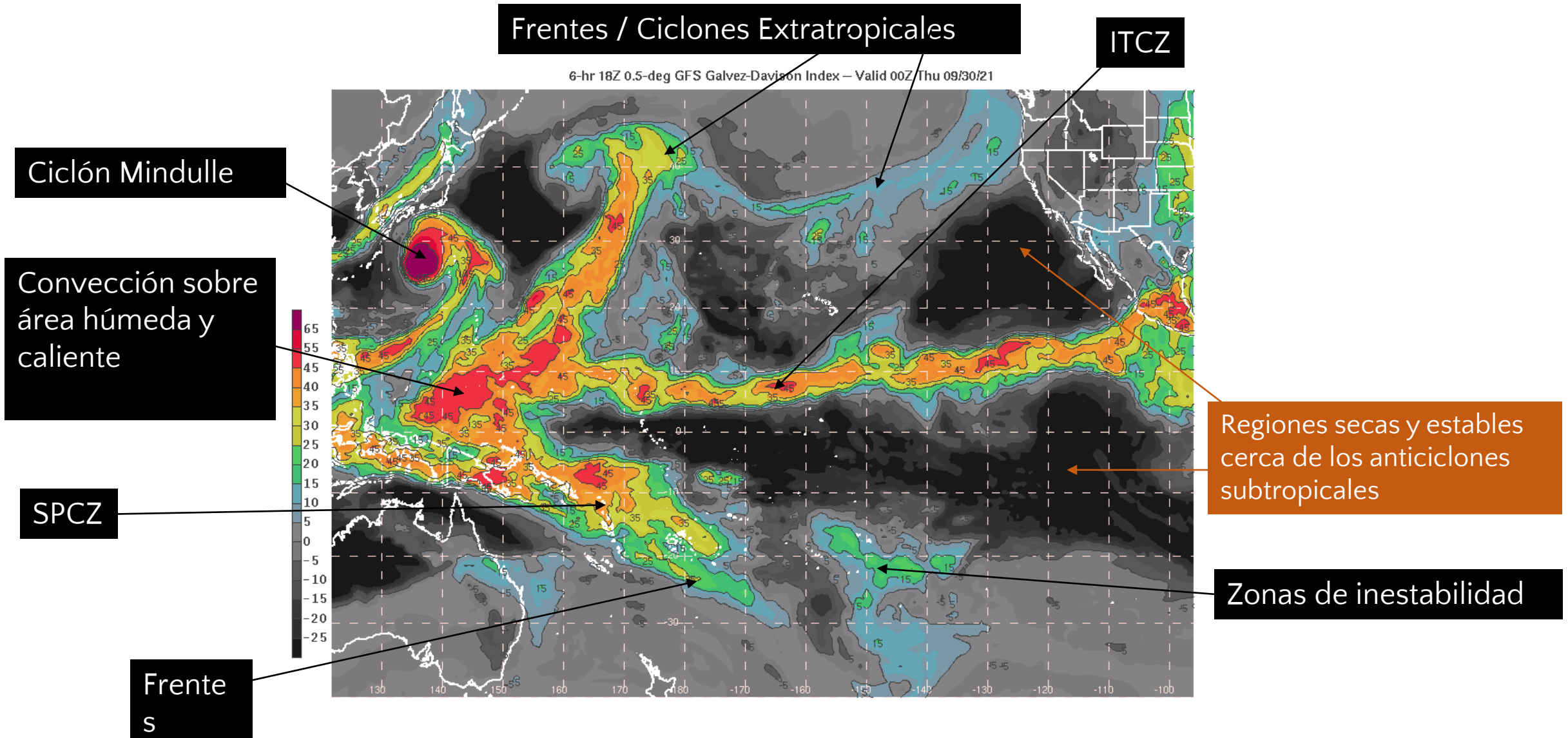
(2) los efectos estabilizadores de la troposfera media crestas / efectos desestabilizadores de las vaguadas

(3) los efectos estabilizadores y secantes de las inversiones de los vientos alisios.





¿Qué podemos ver con el GDI?



¿ Por qué se desarrolló el GDI ?

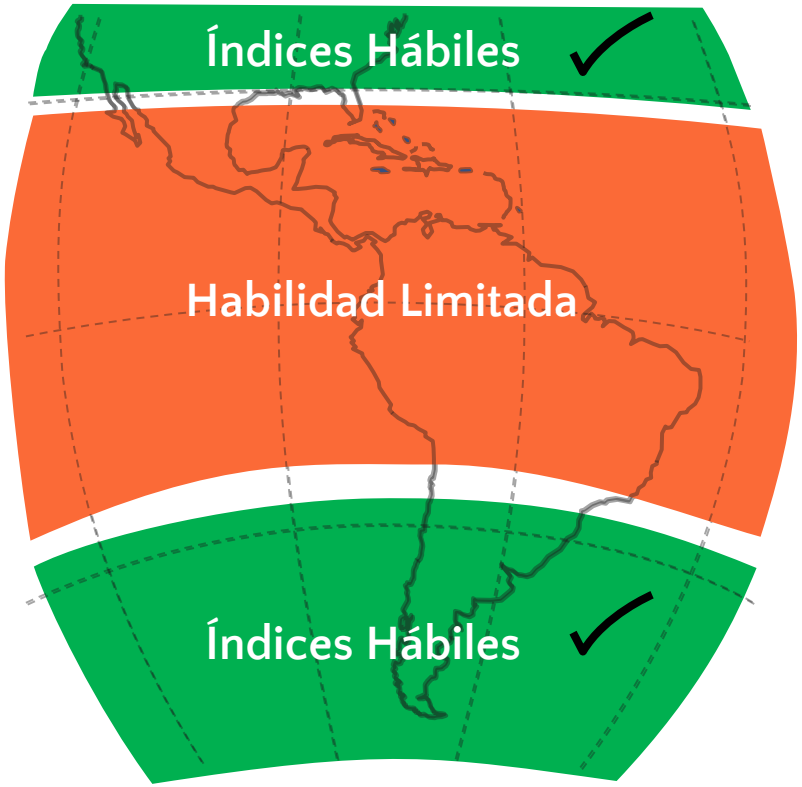
En 2013, no había método para evaluar la estabilidad rápidamente.

- Las Oficinas Internacionales de WPC producen pronósticos de precipitación cuantitativos desde finales de los años 80.

- Un gran problema que se identificó temprano fue la necesidad de evaluar rápidamente la estabilidad tropical.

- El uso de índices de estabilidad tradicionales disponibles no era ideal, ya que estos habían sido diseñados para latitudes medias y tenían una habilidad limitada en EL trópico.

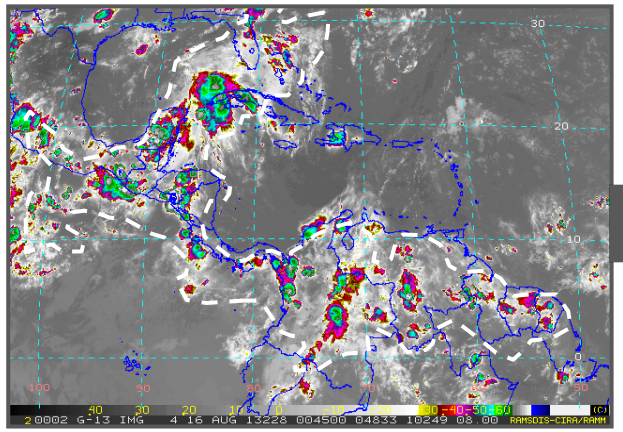
Índices Tradicionales de Estabilidad : Índice Elevado, Índice K, Total-Totales , CAPE/CIN, otros



Ejemplo de Tradicional Índices luchando en los trópicos

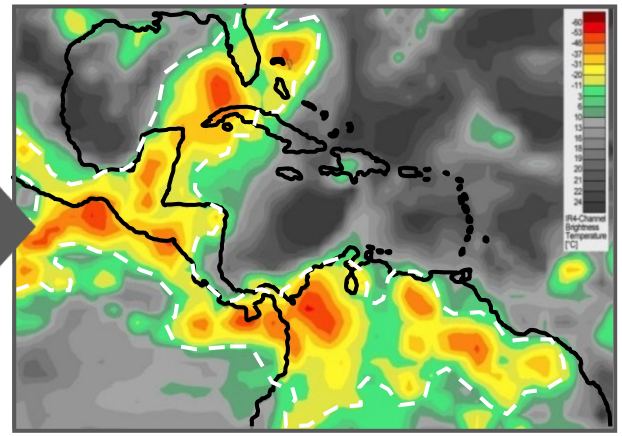
OBSERVADO

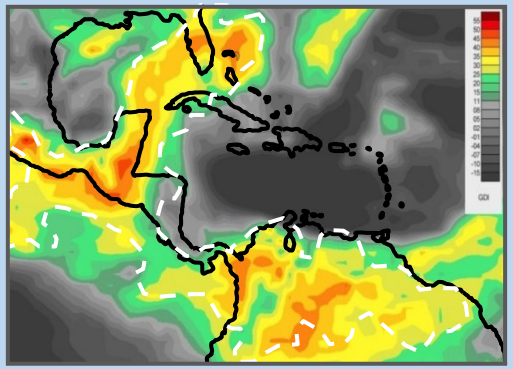
Animación de Brillo (AB)
IR4 de 12 horas



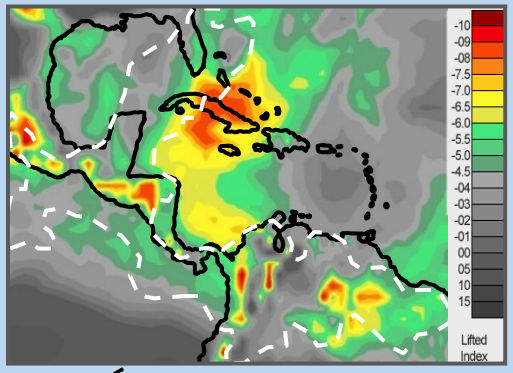
Average

AB promedio de 12 horas

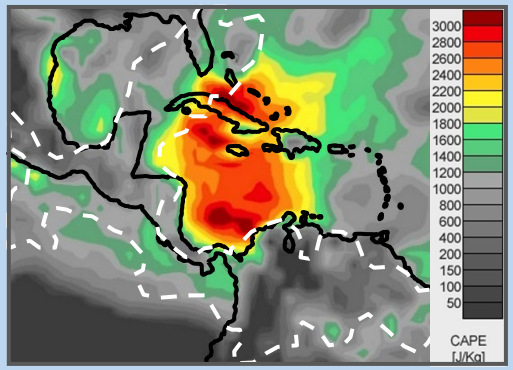




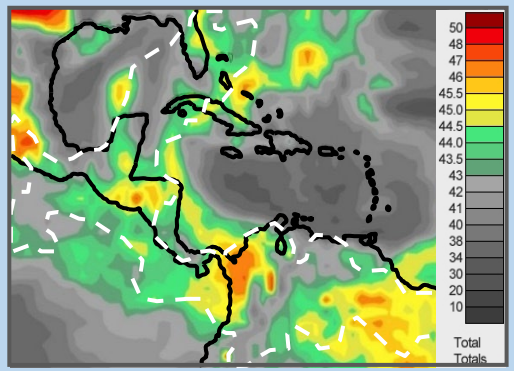
GDI
(Gálvez y Davison, 2016)



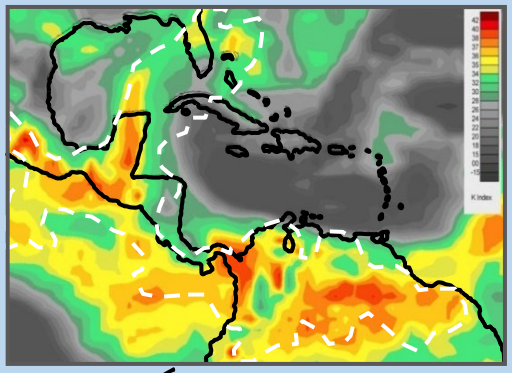
Índice elevado
(Galway, 1956)



CAPE



Total- Totales
(Molinero, 1967)

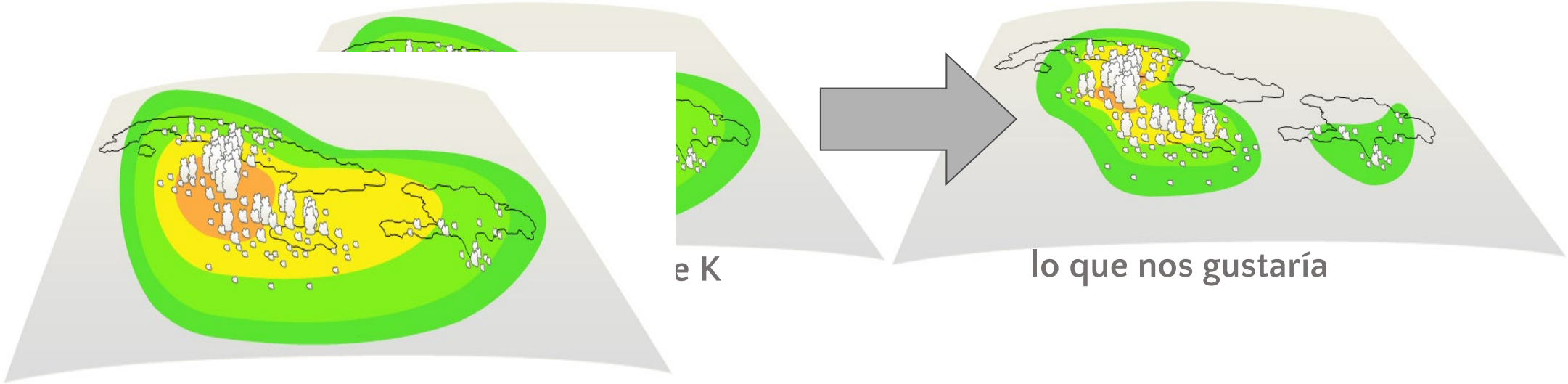


Índice K
(Jorge, 1960)

Beneficios deseados con el GDI

Beneficios deseados

- Destacar los procesos que mejoran la convección de los vientos alisios
- Mejora sobre el índice K (George, 1960)
  - Principal índice termodinámico de convección tropical desde 1960 hasta 2014
  - Demasiado tosco para lo que se desea como pronosticador



¿Cómo generar un mejor índice?

(1) Identificación de los procesos clave que modulan la convección en la región.

¿Cuáles son los principales procesos que impulsan la convección en el Caribe? ¿Qué le falta al índice K?

(2) Identificación de cómo estos procesos se reflejan en las variables atmosféricas.

¿Qué variables y niveles importan?

(3) Diseño de algoritmos: combinación de variables relevantes para producir UN NÚMERO que resuma las interacciones de las variables.

¿Cómo combinar las variables en un algoritmo?

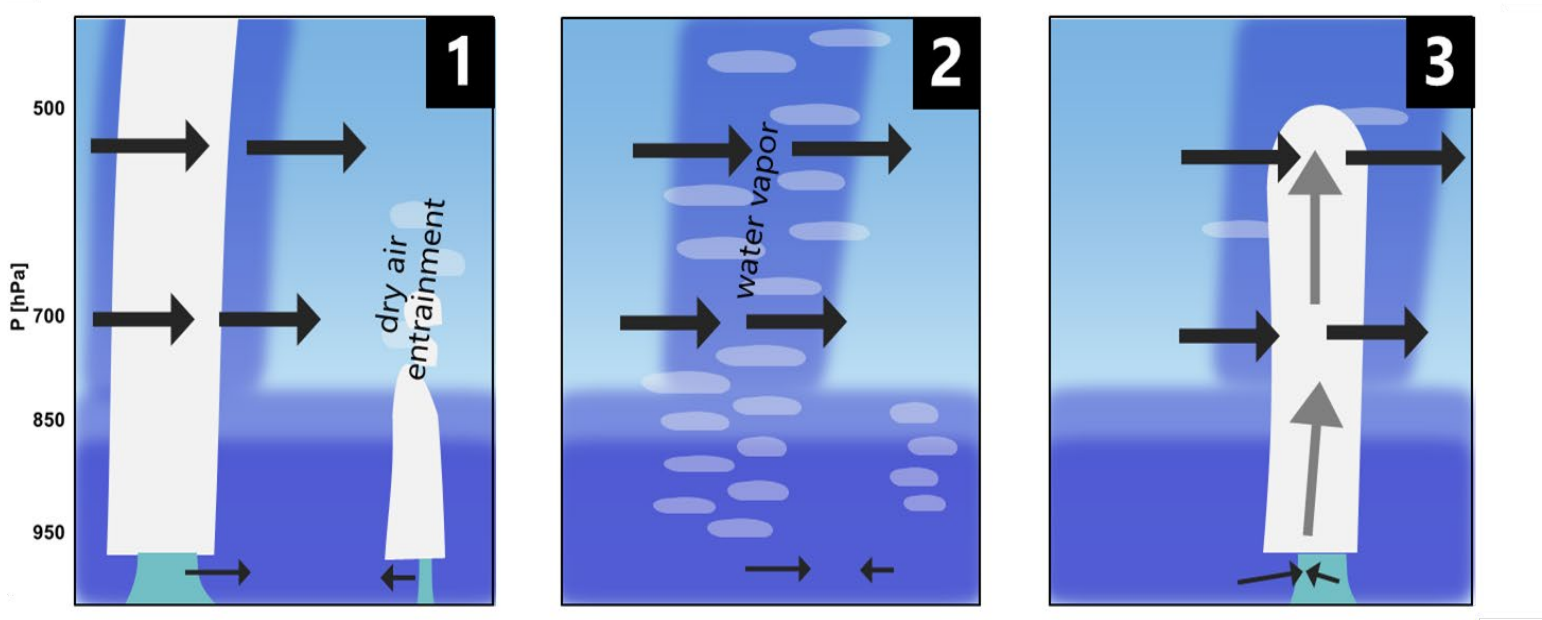
1) Identificar los procesos clave que impulsan la convección de los vientos

Mecanismo de retroalimentación de humedad-convección

(Grabowski y Moncrieff, 2004)

1) La convección tropical es en gran medida sensible a la humedad.

1) La humectación de la columna por la convección anterior establece un entorno favorable para la convección futura, que de otro modo tendría problemas.

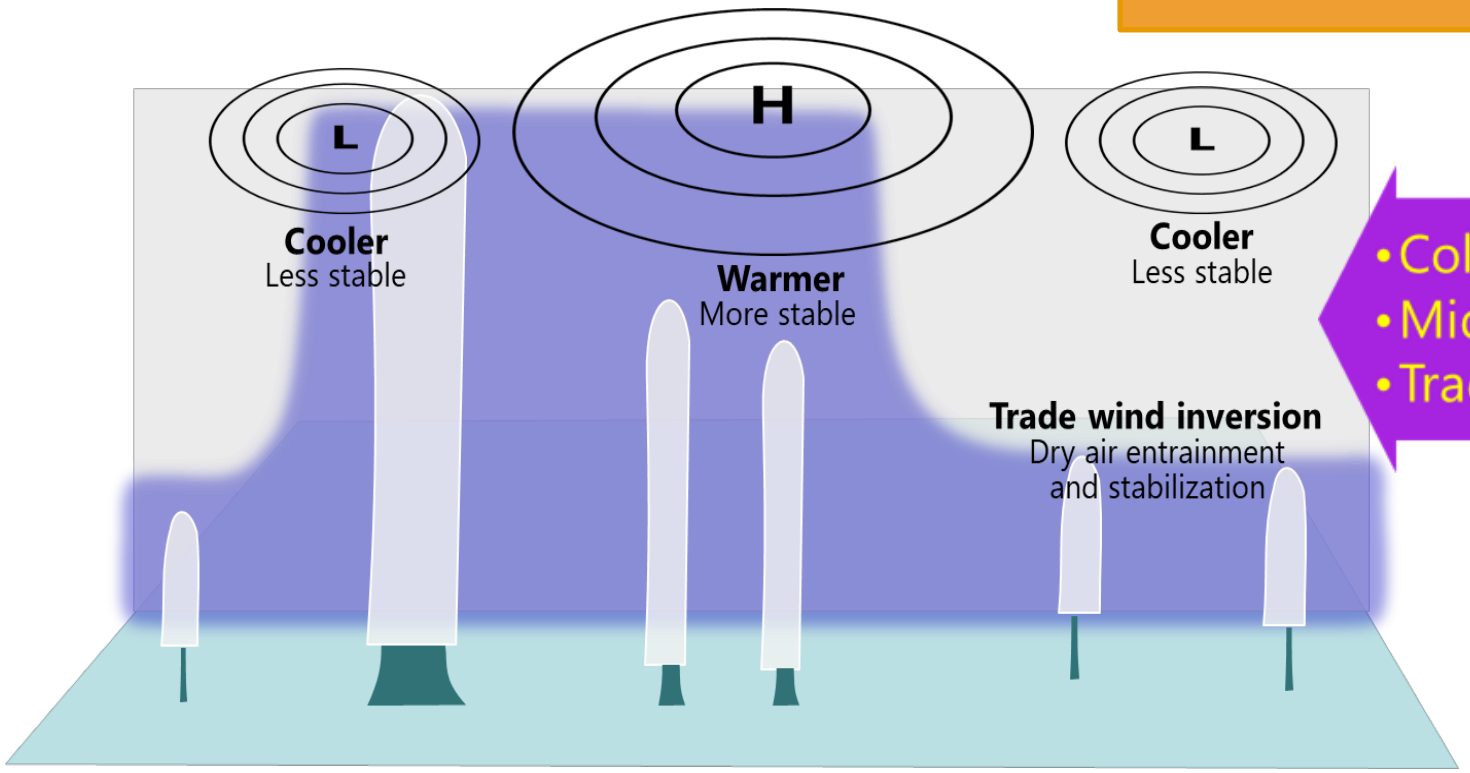


¡La humedad REALMENTE importa en el trópico!

1) Identificar los procesos clave que impulsan la convección de los vientos alisios

¿Qué le falta al índice K?

No resuelve los efectos de la inversión de los alisios con suficientes detalles.

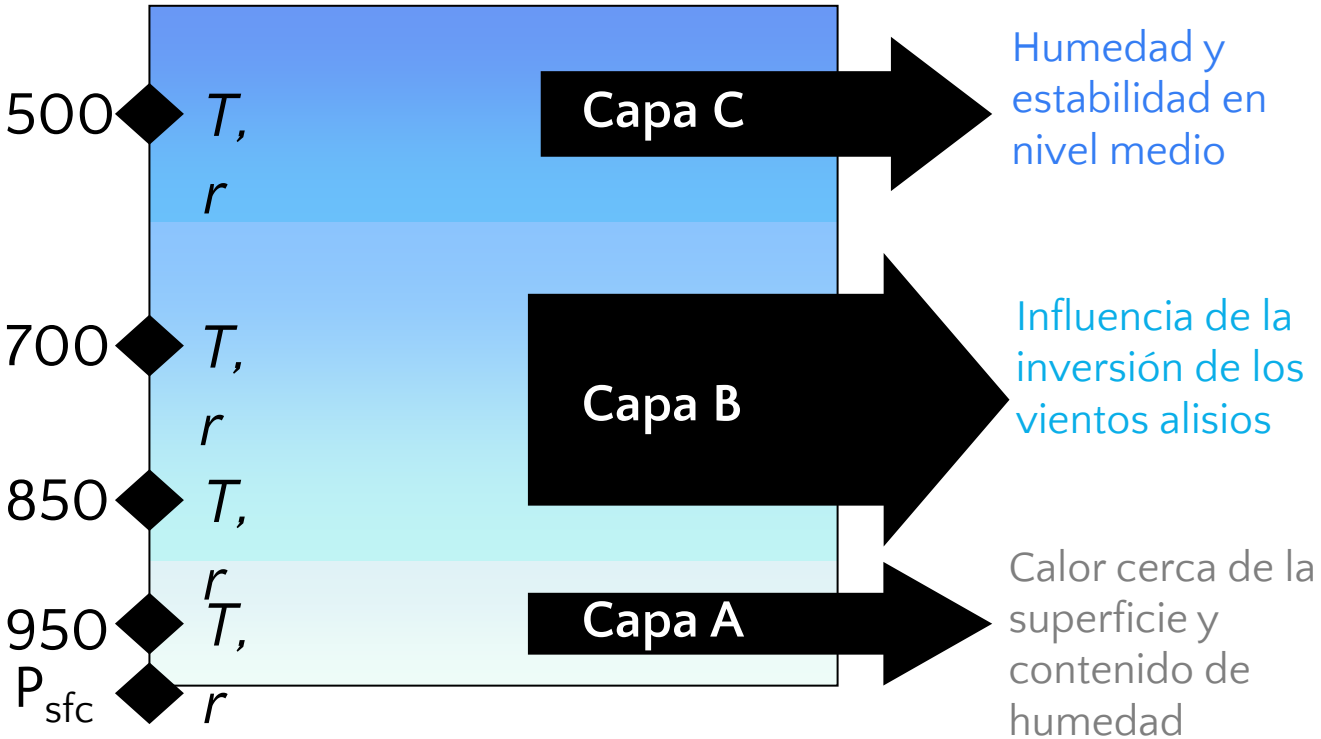


- Column moisture
- Mid-level temperatures
- Trade wind inversion

Procesos seleccionados

2) Identificar cómo estos procesos se reflejan en las variables

Niveles y variables que importan:



Se consideran temperaturas y relaciones de mezcla, ya que permiten caracterizar el perfil termodinámico.

Niveles:

- 500 hPa se utiliza en la mayoría de los índices de estabilidad, ya que puede caracterizar las propiedades térmicas de la troposfera media.
- 950 hPa caracteriza la superficie. 1000 hPa no se usa debido a que los datos de los modelos tienen más ruido, debido a las interacciones con la superficie.
- 700 y 850 hPa son capas que caracterizan la capa de los vientos alisios y sus características.

2) Identificar cómo estos procesos se reflejan en las variables

La convección tropical se relaciona con estructuras visibles en perfiles termodinámicos entre la superficie y 500 hPa.

Estos ejemplos muestran los perfiles asociados con diferentes regímenes convectivos.

Extrayendo la temperatura y las proporciones de mezcla a 950, 850, 700 y 500 hPa podrían ser suficientes para caracterizar estos regímenes convectivos.

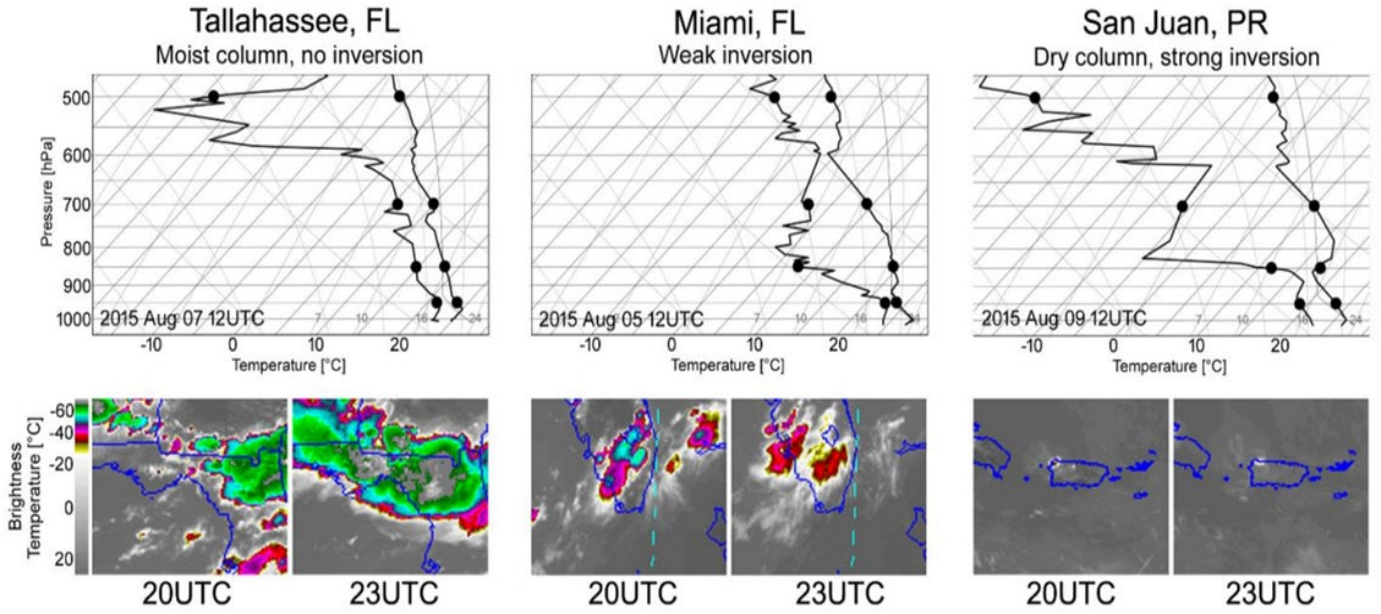
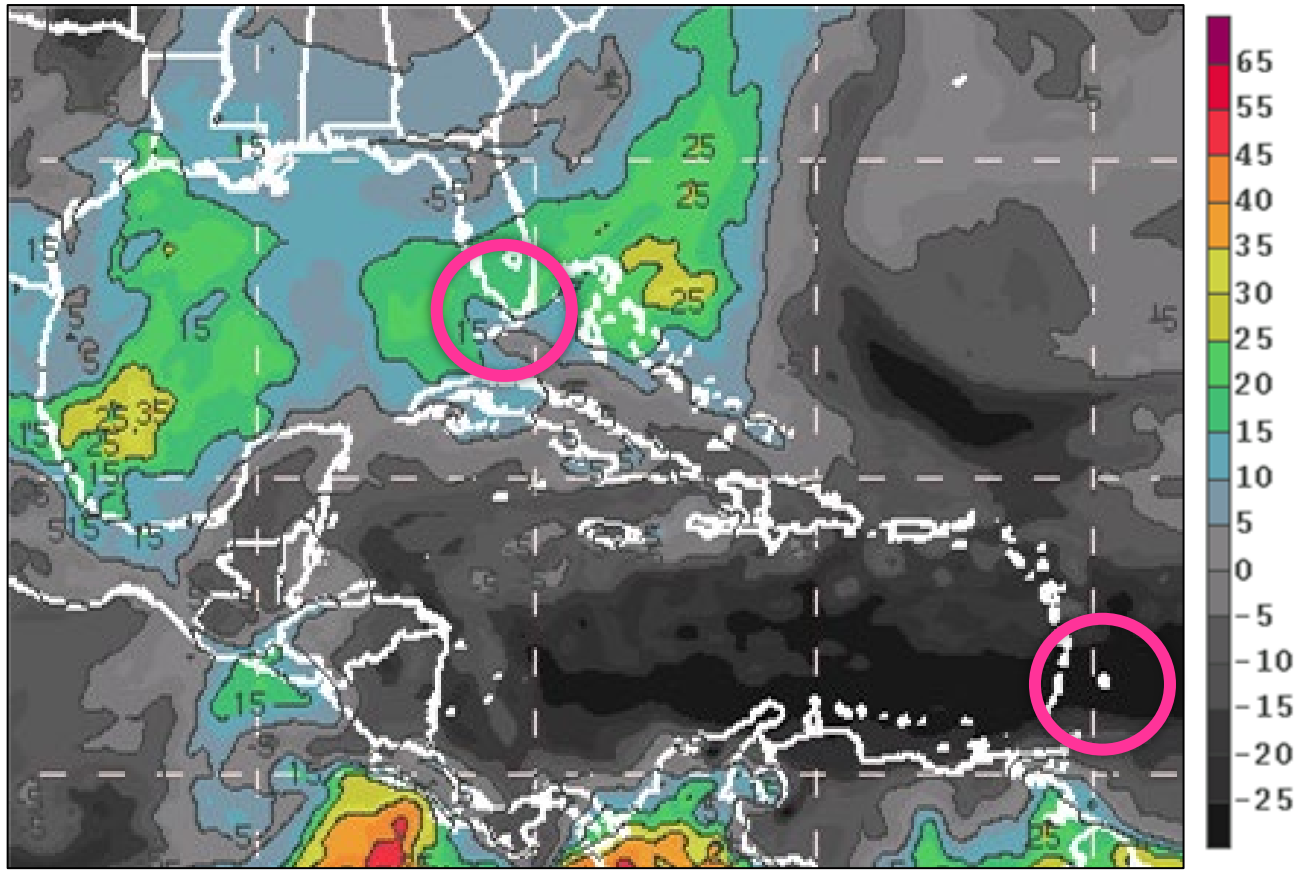


FIG. 2. 12UTC soundings (top) and corresponding GOES IR4-derived BT near 20 UTC and 23 UTC (bottom) for three locations: Tallahassee, FL (left); Miami, FL (center), and San Juan, Puerto Rico (right). The figure illustrates the evolution of afternoon convection near/downstream of each station in association with the morning sounding. The GDI calculation points are included in the soundings for later reference. Soundings are courtesy of the University of Wyoming (http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html, 2015) and satellite images courtesy of CIRA (http://rammb.cira.colostate.edu/ramsdis/online/rmtc.asp, 2015).

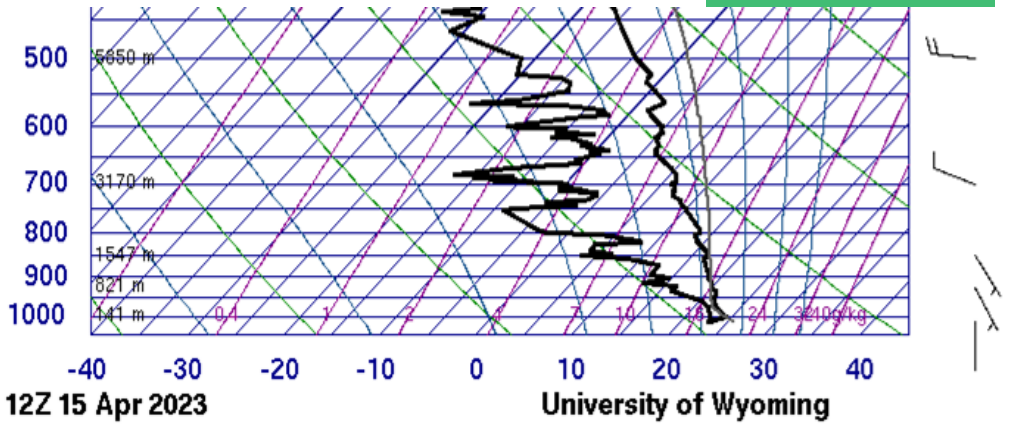
GDI y Sondeos

12 UTC 15 abril, 2023



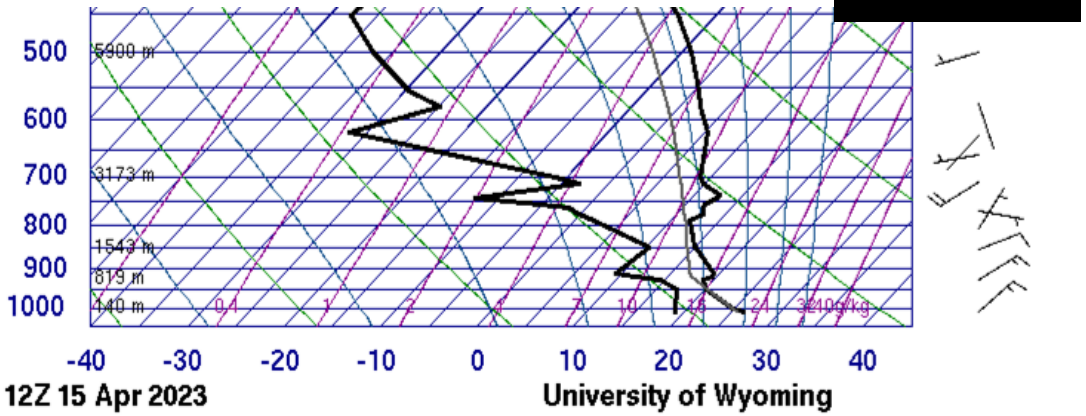
Miami, Florida

GDI +20



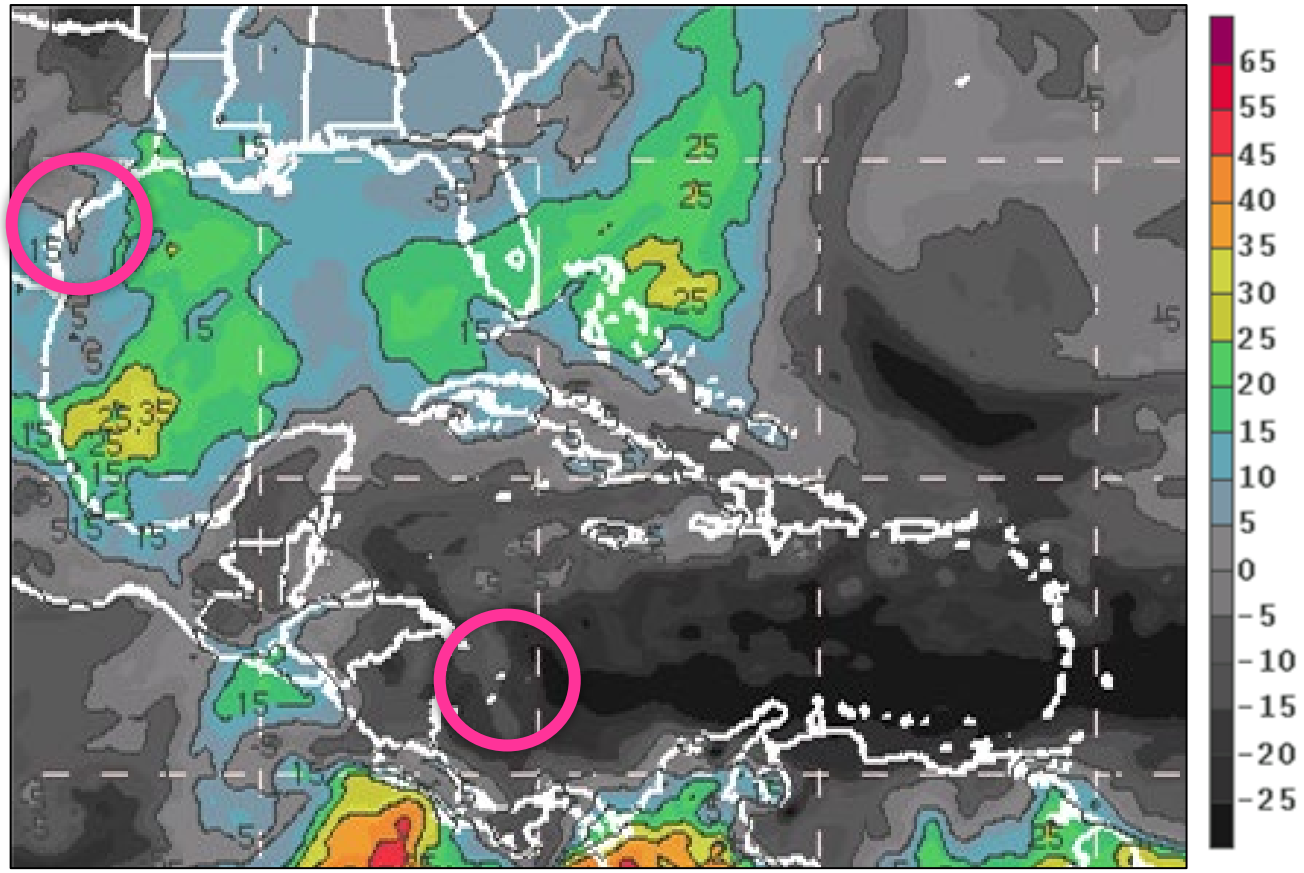
Grantley Adams, Barbados

GDI -25



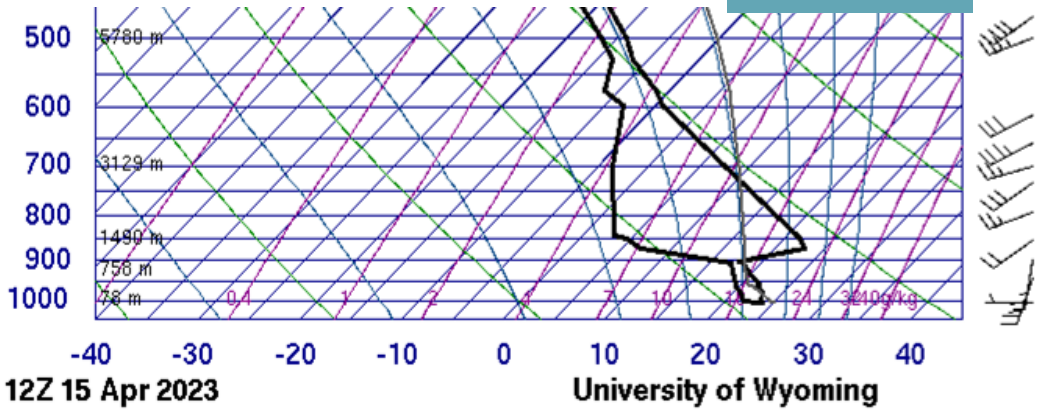
GDI y Sondeos

12 UTC 15 abril, 2023



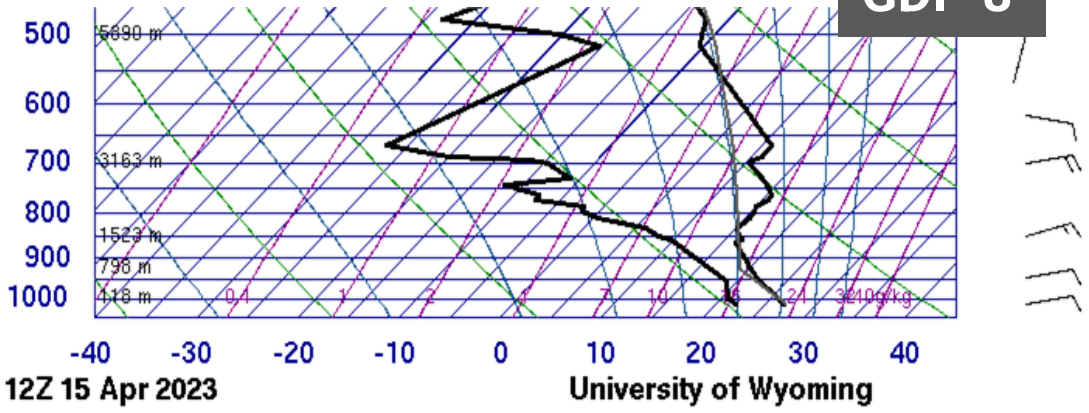
Corpus Christi, Texas

IDG +11



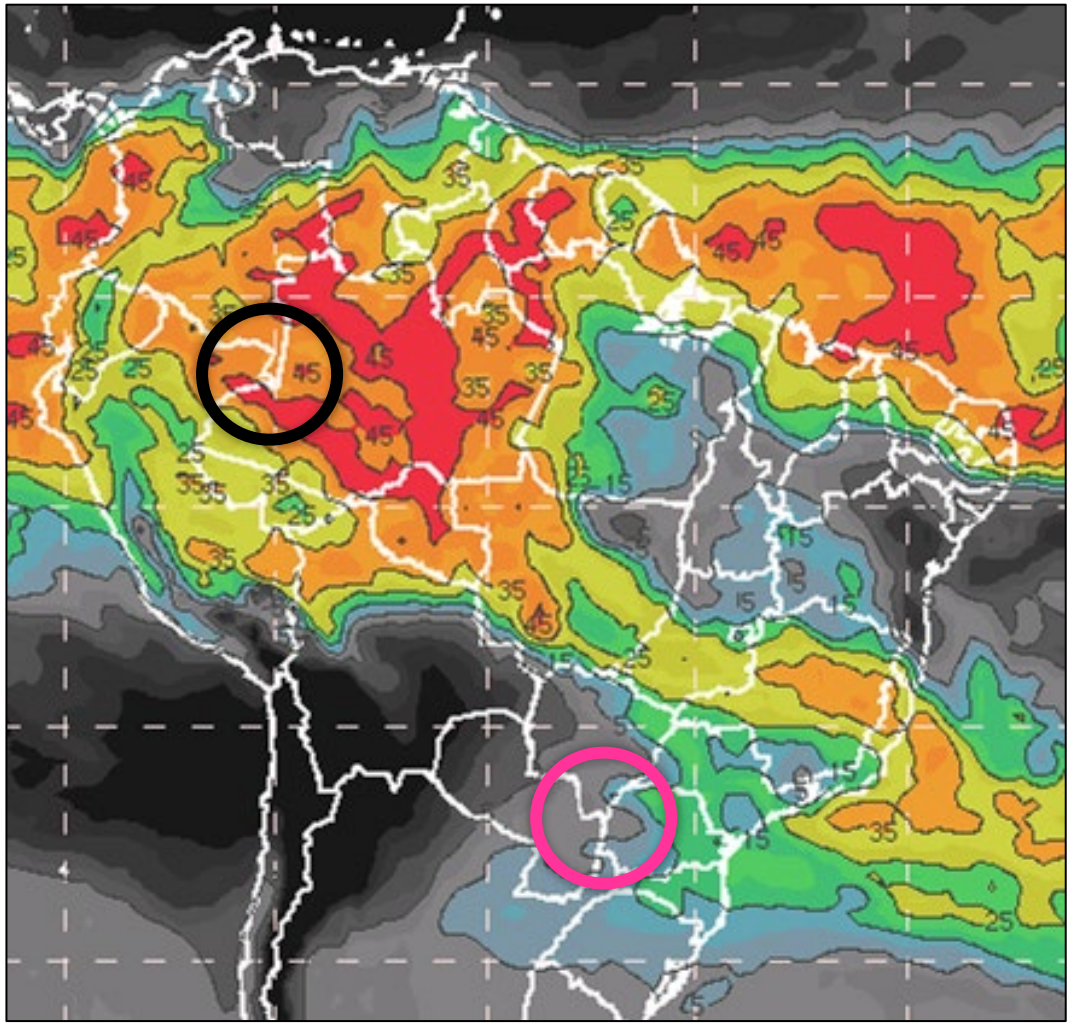
San Andrés, Colombia

GDI -8



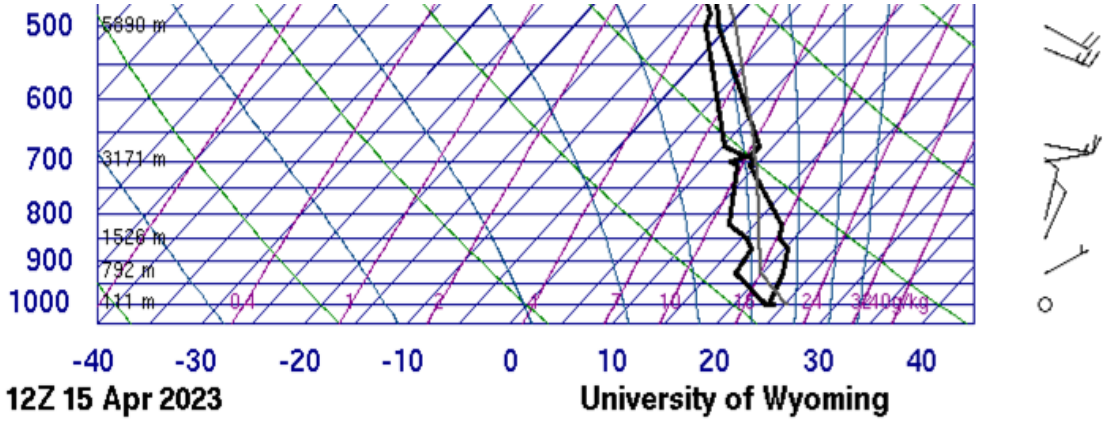
GDI y Sondeos

12 UTC 15 abril, 2023



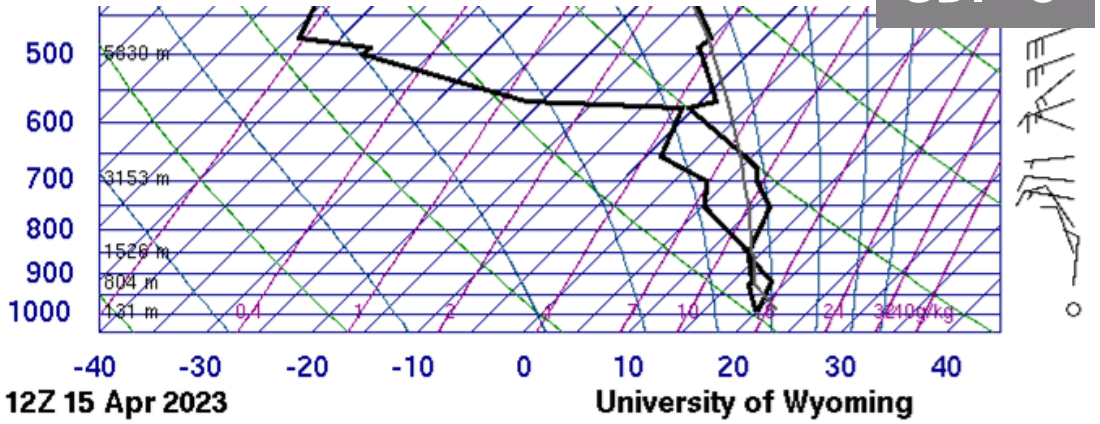
Leticia, Colombia

GDI +40



Foz de Iguazú, Brasil

GDI +3

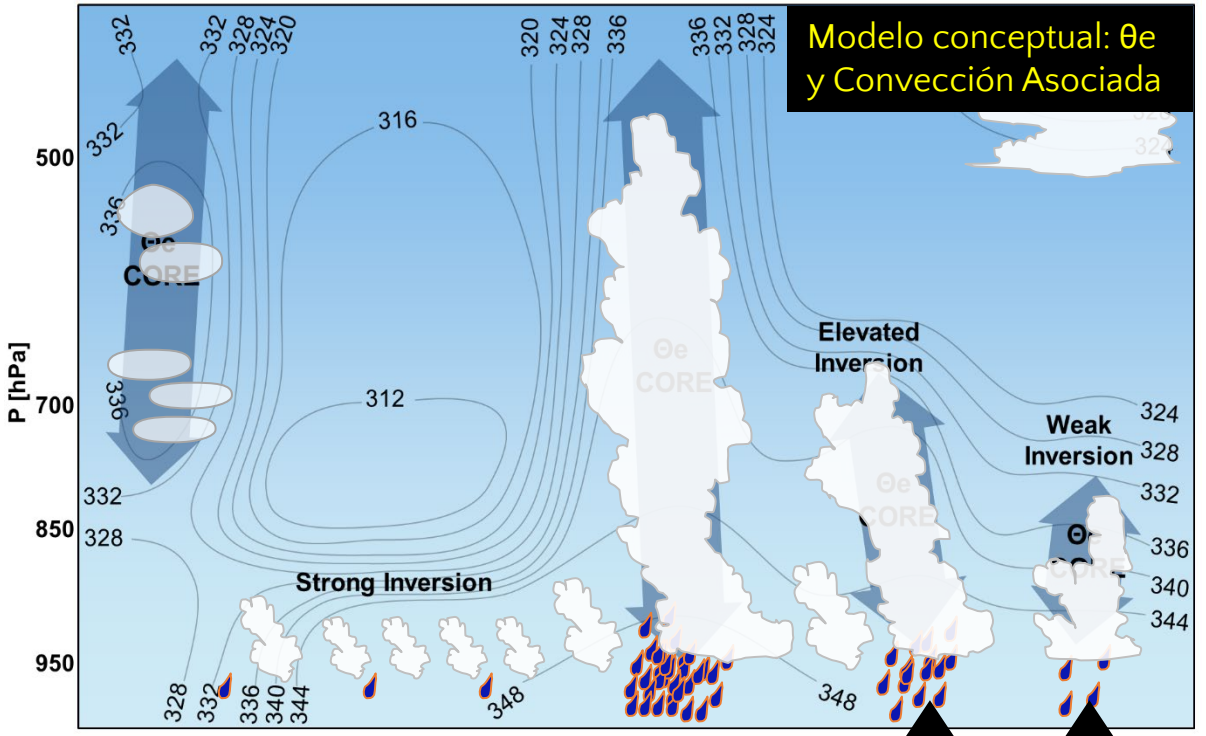


2) Identificar cómo estos procesos se reflejan en las variables

variable clave:

Θe (los 4 niveles):

- Muy útil.
- Se relaciona de cerca con la humedad en el trópico, que afecta la estabilidad (el aire húmedo en los niveles bajos se desestabiliza)
- Las columnas con valores altos indican calor abundante y humedad en toda la columna.
- Pero la sequedad por encima de una fuerte inversión de los vientos alisios también muestra un Θe muy bajo sobre valores más altos (gradiente vertical pronunciado)



Pequeños cambios en la profundidad de las nubes tropicales pueden producir diferencias significativas en las precipitaciones

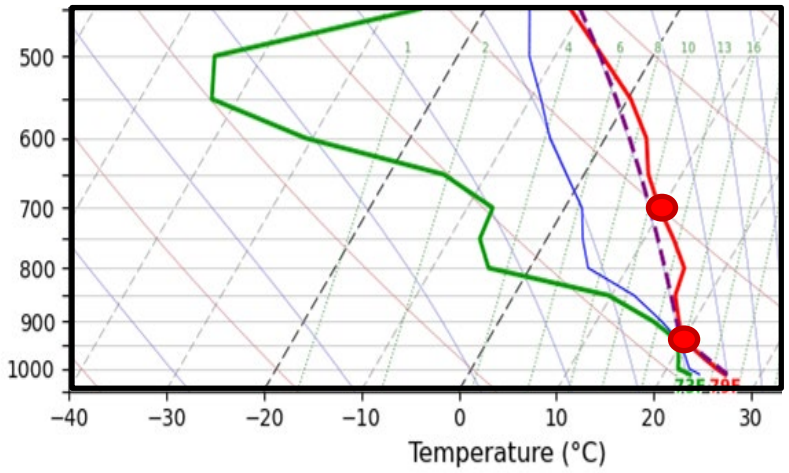
El índice K a menudo tiene problemas con esto

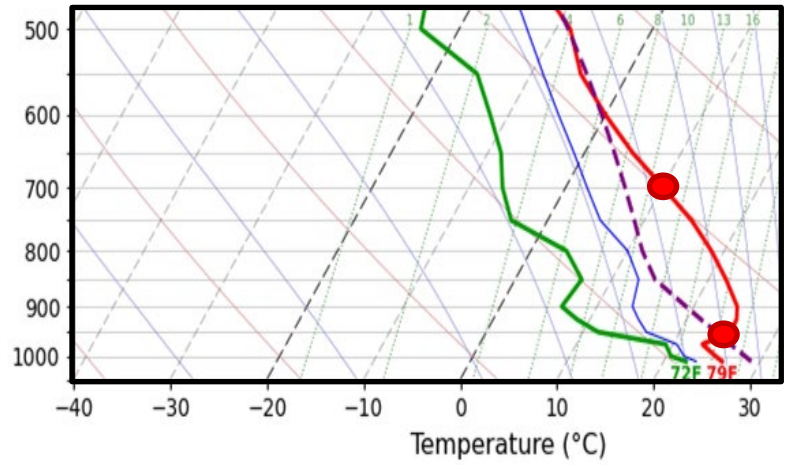
2) Identificar cómo estos procesos se reflejan en las variables

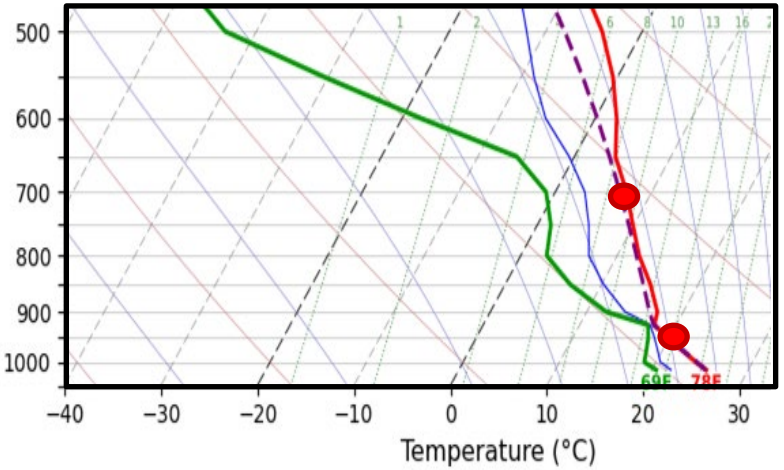
Variable:

T700-T950:

- La diferencia de temperatura entre 700 y 950 hPa representa la tasa de caída en la troposfera baja.
- Las inversiones de estabilidad y de los vientos alisios, que modulan en gran medida la convección, muestran valores negativos pequeños. Los valores negativos grandes indican inestabilidad.





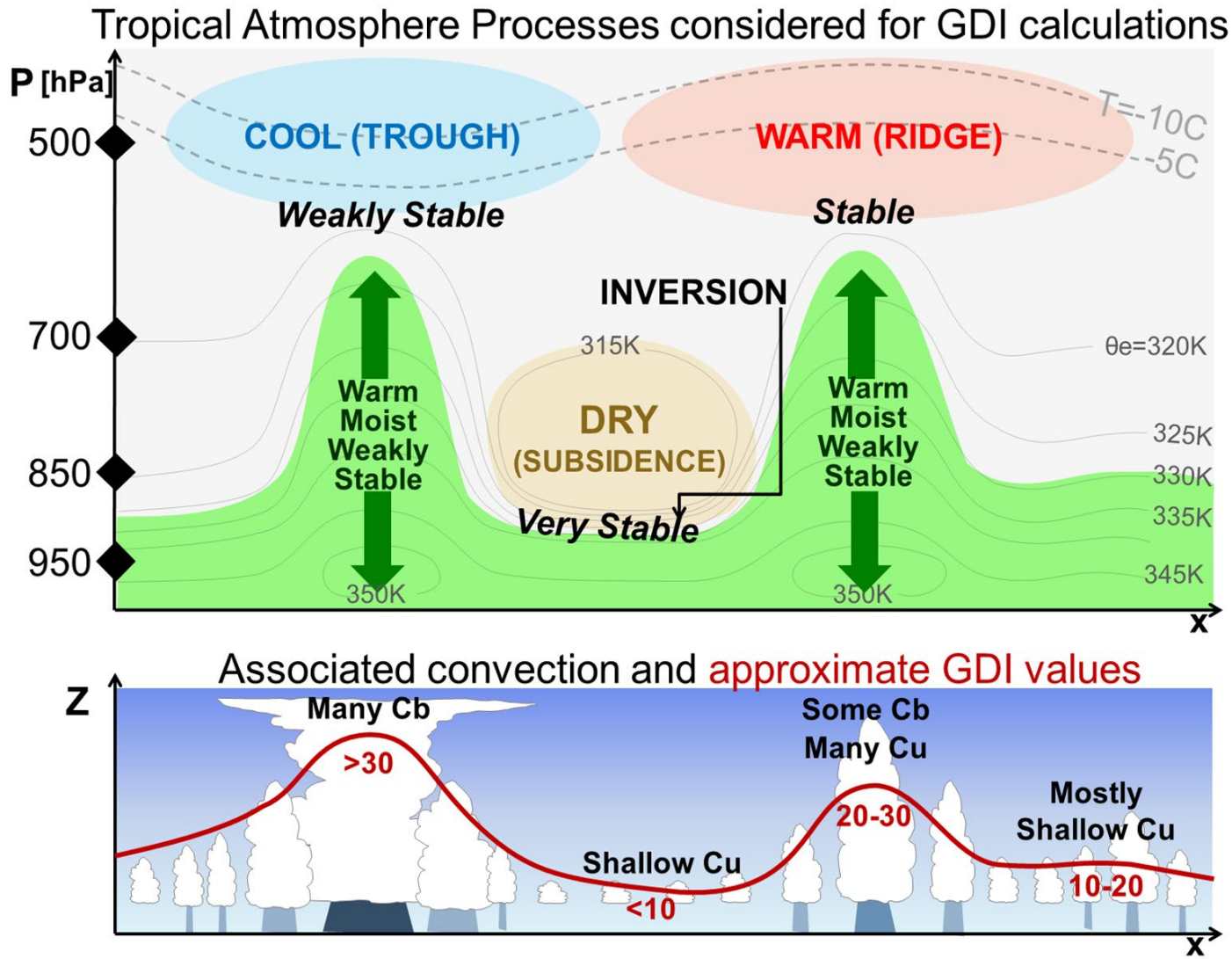


2) Identificar cómo estos procesos se reflejan en las variables

Variable:

T_{500} :

-Captura bolsillos frescos (inestable) asociados con TUTT o canales polares.



3) Diseño de algoritmos

Manuscrito para cálculo:
https://www.wpc.ncep.noaa.gov/international/gdi/GDI_Manuscript_V20161021.pdf

Índice Gálvez-Davison (GDI)

=

Índice de flotabilidad de columna (CBI)

Factor de mejora . Calor y humedad disponibles en la columna. Aumenta de forma no lineal si la columna cálida/húmeda se basa en el suelo.

+

Índice de calentamiento de nivel medio (MWI)

Factor de amortiguamiento. Estabilización de nivel medio por crestas cálidas.

+

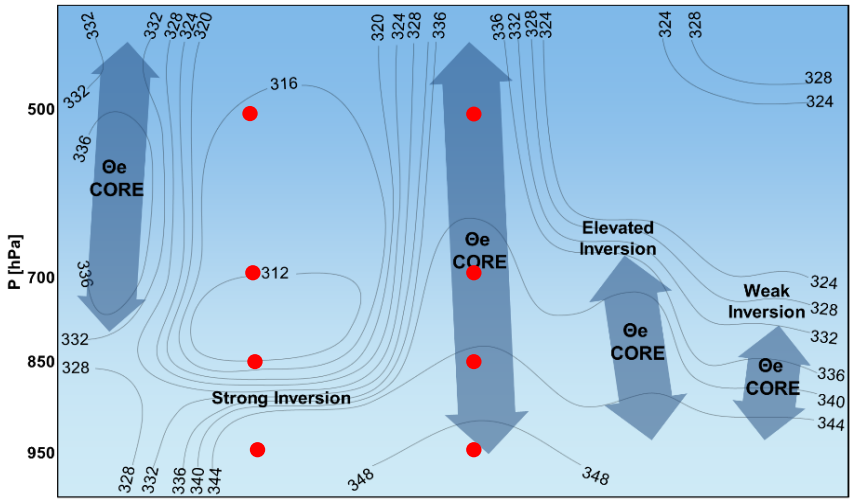
Índice de inversión (II)

Factor de amortiguamiento. Efectos estabilizadores de la inversión junto con el arrastre de aire seco si la convección penetra en la inversión.

+

Corrección de Terreno (**OC**)

Solo para mejorar la visualización de las cuadrículas.



Factor de amortiguamiento de estabilidad (**S**)

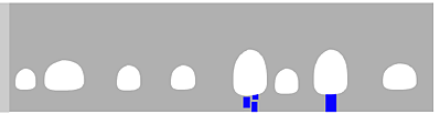
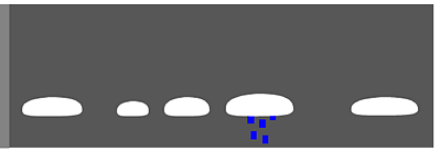
Cuanto más suave sea la tasa de caída de 950-700 hPa, mayor será la amortiguación debido a la estabilidad.

Factor de amortiguamiento de secado (**D**)

Cuanto más pronunciada sea la disminución de EPT con la altura, mayor será la amortiguación debido a la entrada de aire seco.

Valores e interpretación del GDI

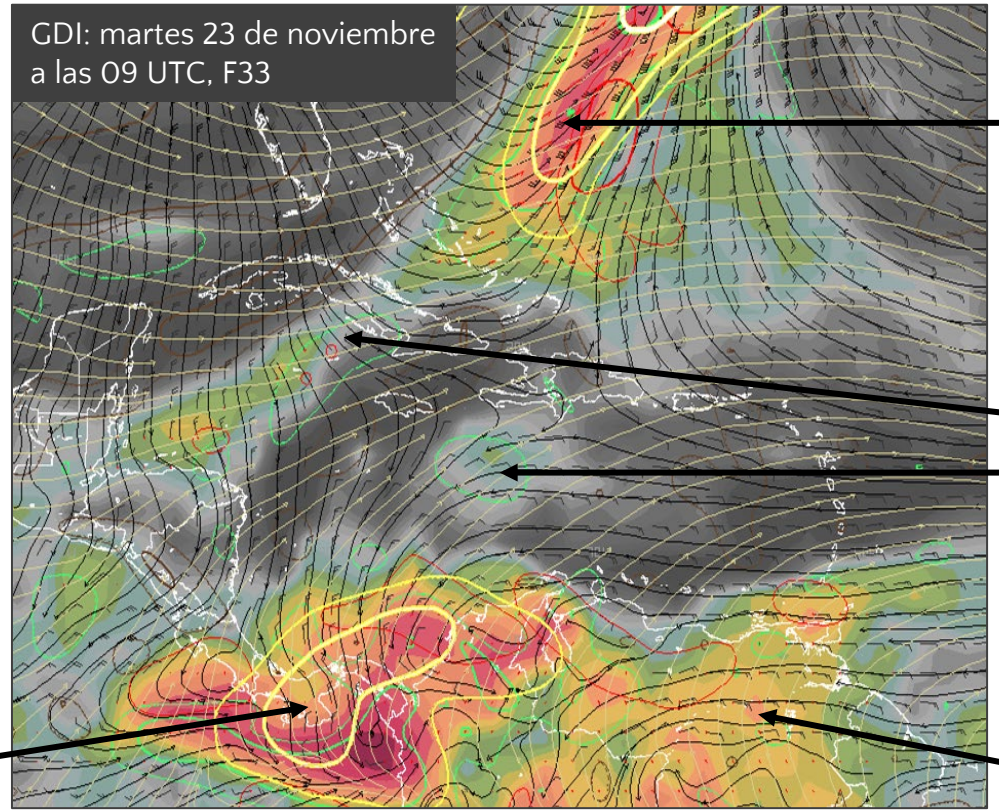
Cuadro general

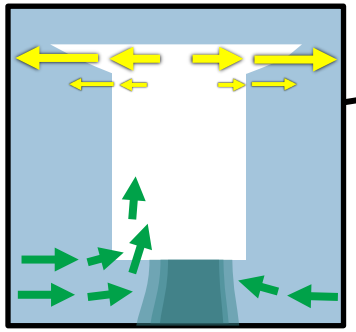
GDI > +45	Potential for scattered to widespread heavy rain producing thunderstorms.	
+35 to +45	Potential for scattered thunderstorms some capable of producing heavy rainfall.	
+25 to +35	Potential for scattered thunderstorms or scattered shallow convection with isolated thunderstorms.	
+15 to +25	Potential for a few isolated thunderstorms, but mostly shallow convection.	
+05 to +15	Potential for shallow convection. A very isolated and brief thunderstorm is possible.	
-20 to +05	Potential for isolated to scattered shallow convection. Strong subsidence inversion likely.	
-20 > GDI	Strong subsidence inversion. Any convection should be very shallow, isolated, and produce trace accumulations.	

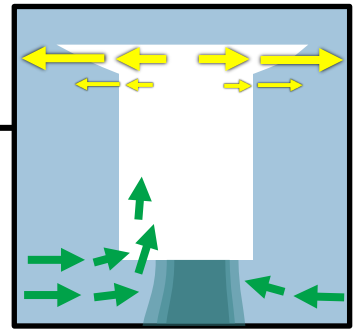
La habilidad y los valores exhiben variabilidad espacial y temporal: la validación es importante

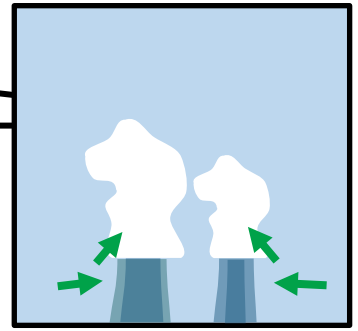
El GDI no es un índice independiente

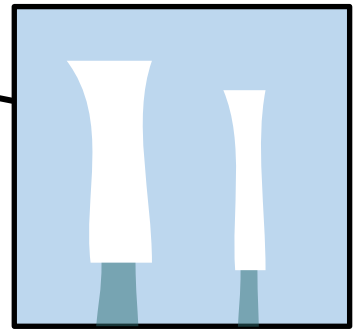
- Evalúa si el entorno es adecuado para alojar la convección, pero no analiza los activadores de la convección.
- Un análisis del flujo y la dinámica debe acompañar al GDI.











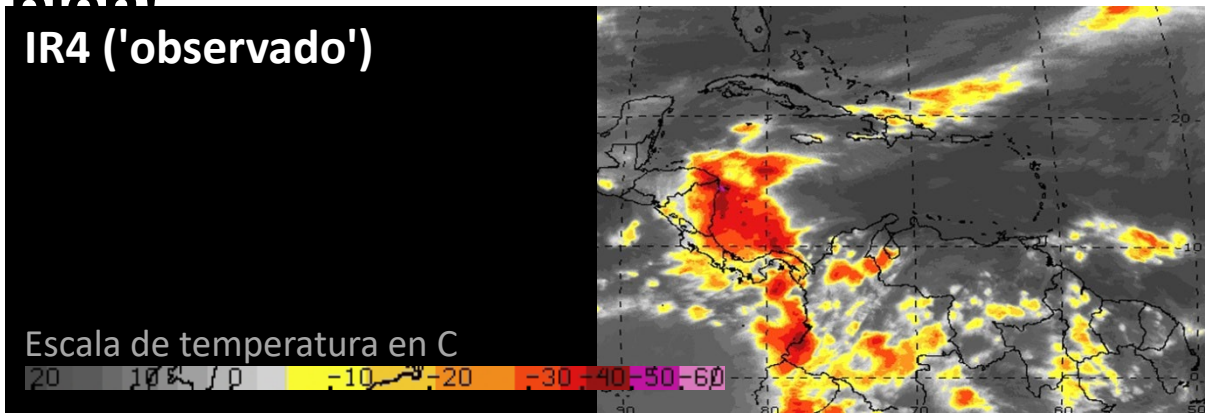
Water Vapor Flux Divergence
950-700 hPa Layer
+10
+4
-4
-10
-20
x 10^{-8} $\frac{kg_{wv}}{kg_{air}}$ /m^2/s

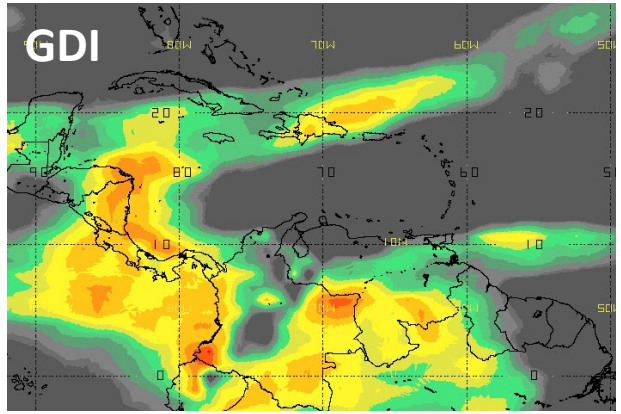
Wind Divergence
400-200 hPa Layer
30
12
6
x 10^{-6} /s

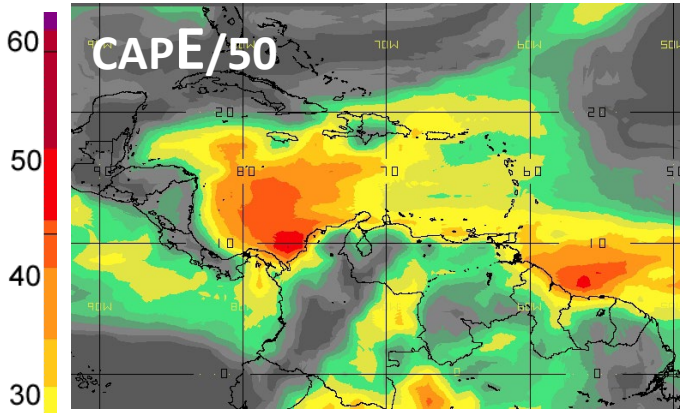
Upper Flow (400-200 hPa Layer)
Lower Flow (1000-850 hPa Layer)
Lower Flow Wind Barbs in kt

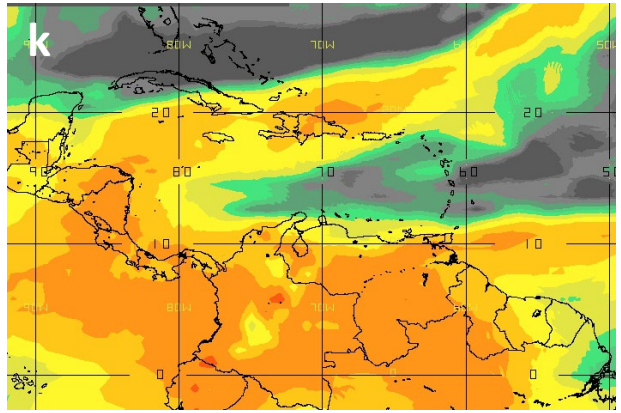
Otros ejemplos □ GDI funciona bien!

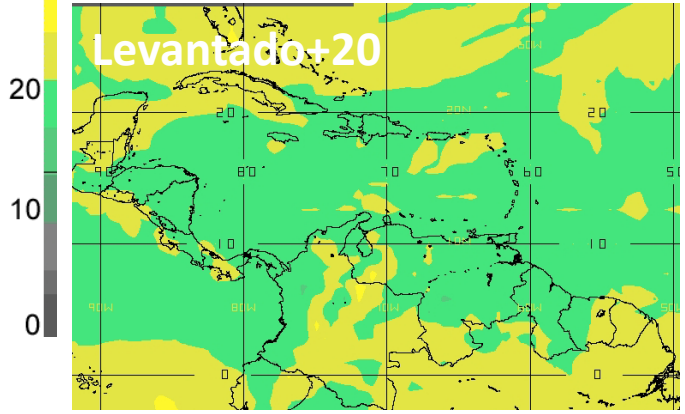
4 de noviembre de 2012

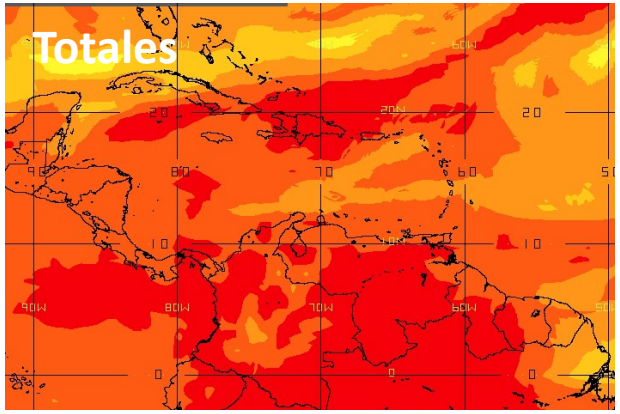










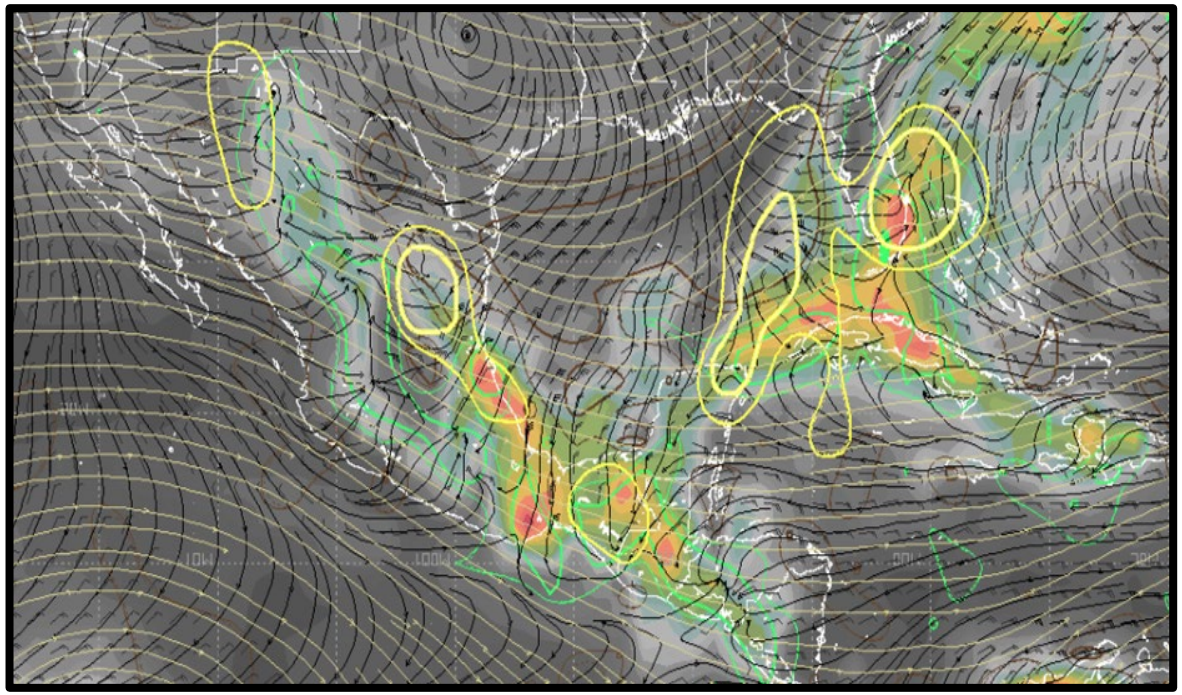


Intercomparación
Índice de satélites

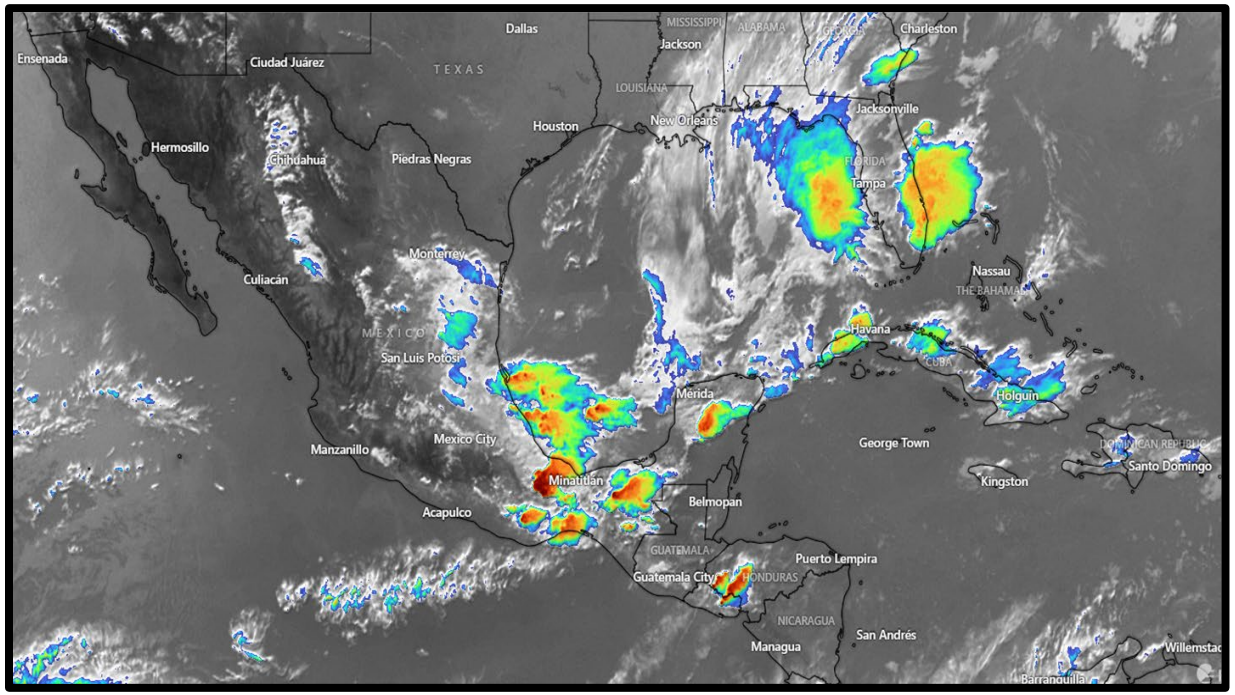
Validación en México y el Norte del Caribe

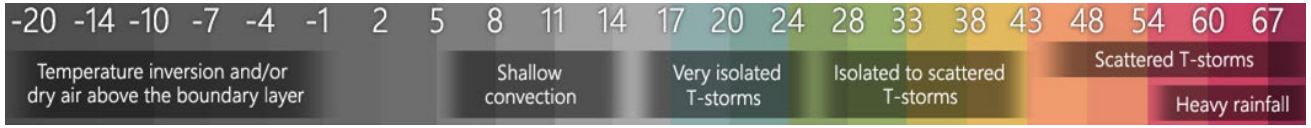
17 de abril de 2023, 00 UTC

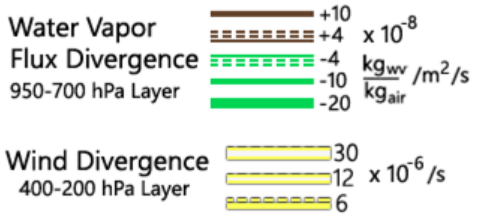
GDI y flujo

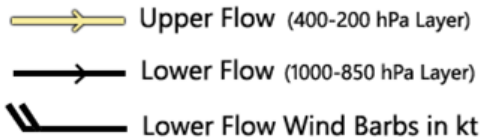


IR de onda larga

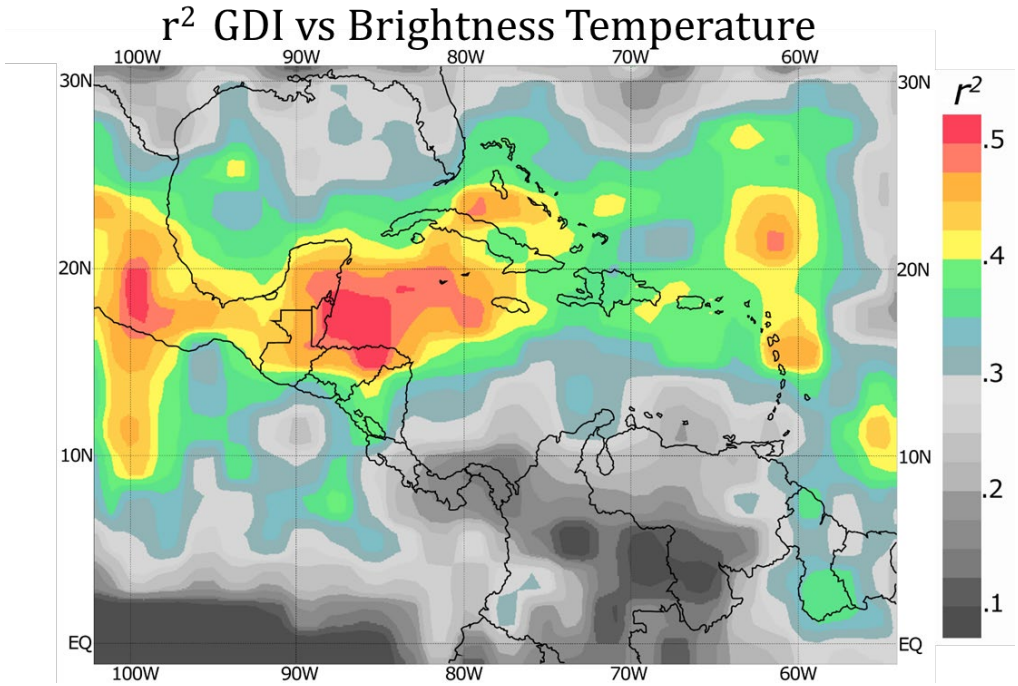






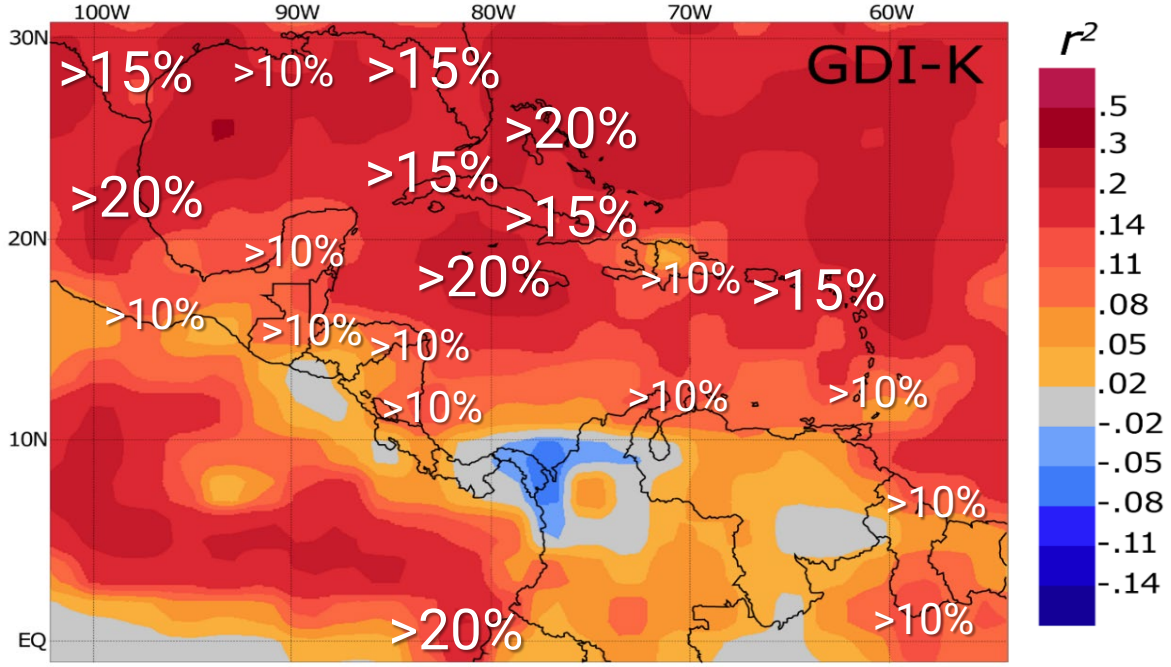


Validación del GDI en el Caribe y Centroamérica



Mejora sobre la K

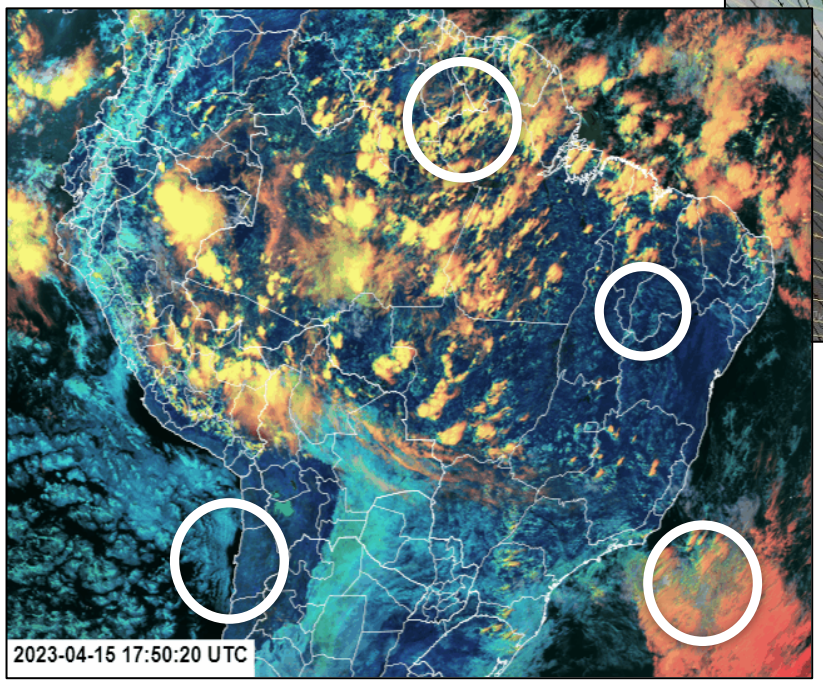
Variación de temperatura de brillo adicional detectada

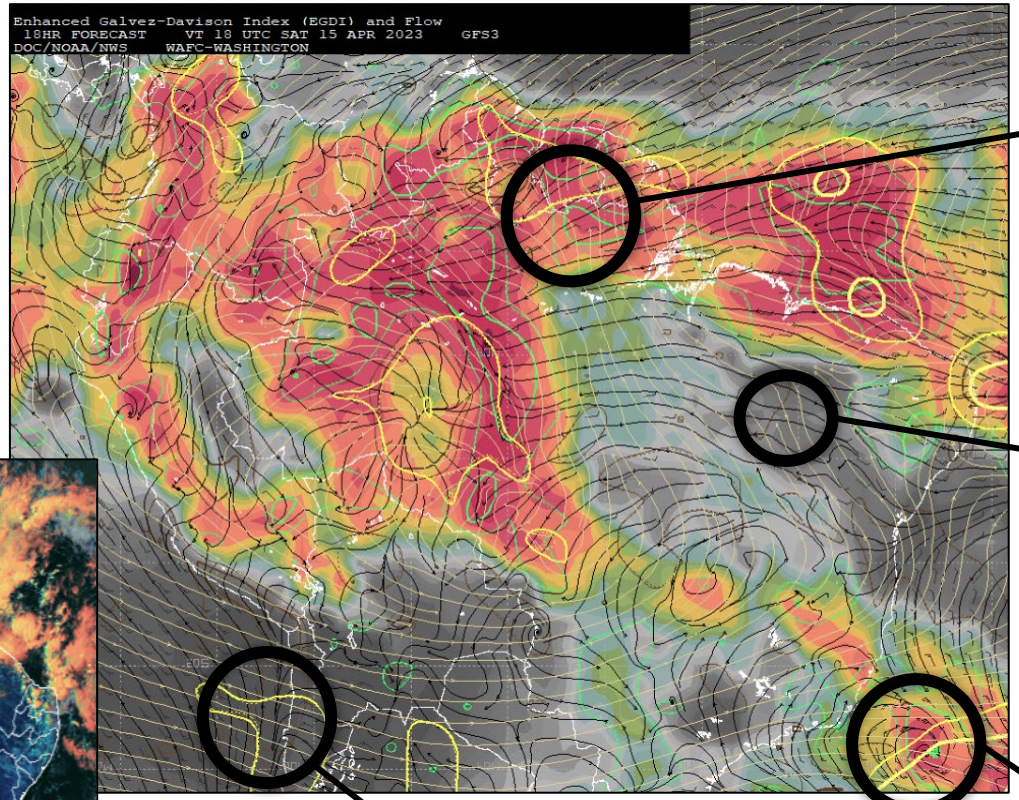


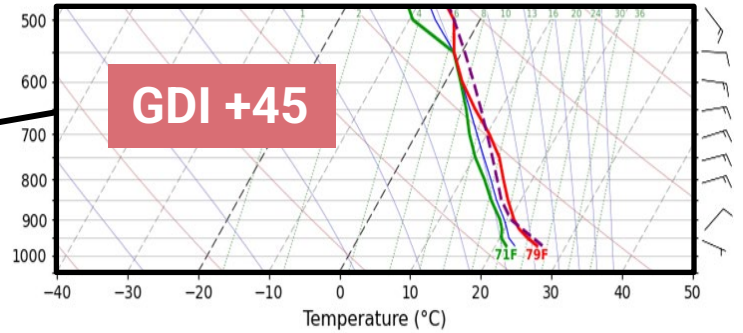
Significado: en áreas como el Golfo de Honduras y el centro de México, el GDI por sí solo podría detectar ~50% de la variación de la temperatura de brillo.

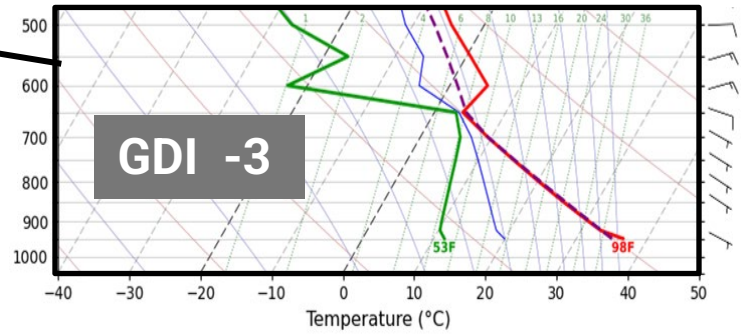
- GDI superó a K en la mayor parte del dominio (>90 %).
- Áreas de mayor beneficio, Caribe norte, México, Bahamas, SE de EE. UU.
- GDI detectó un 15-30% adicional de variación de OLR.
- Mejora sobre la costa/oeste de Ecuador también.
- Limitaciones a lo largo de ITCZ/NET, donde los procesos de conducción c GDI no importan.

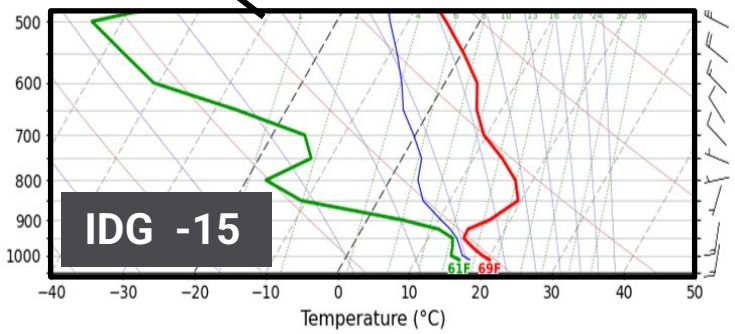
Validación en Sudamérica

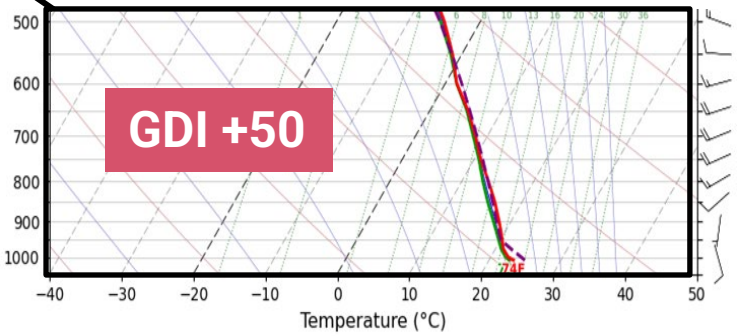






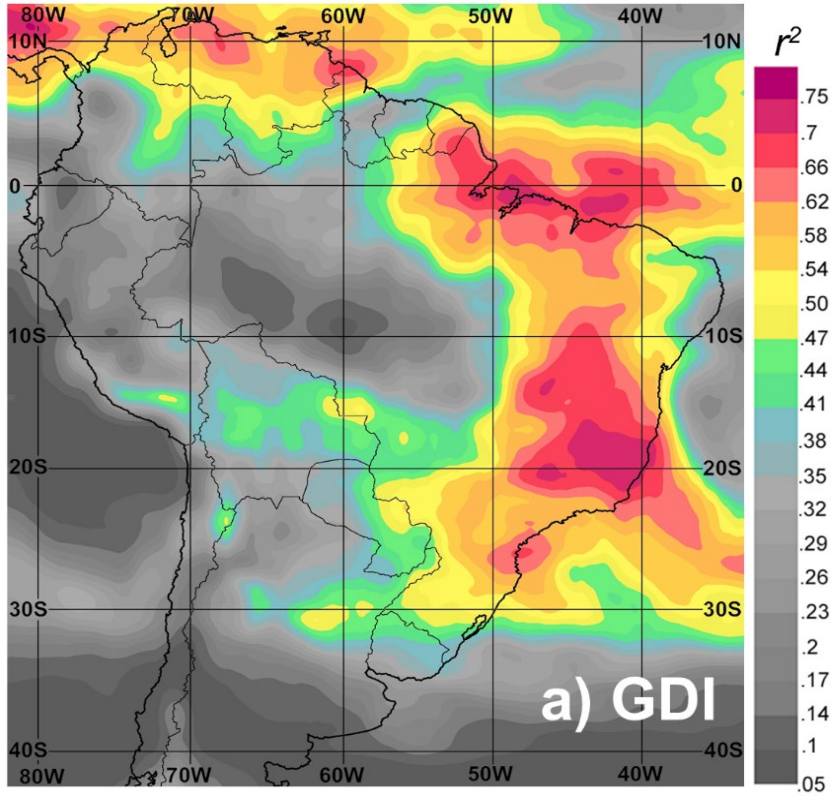






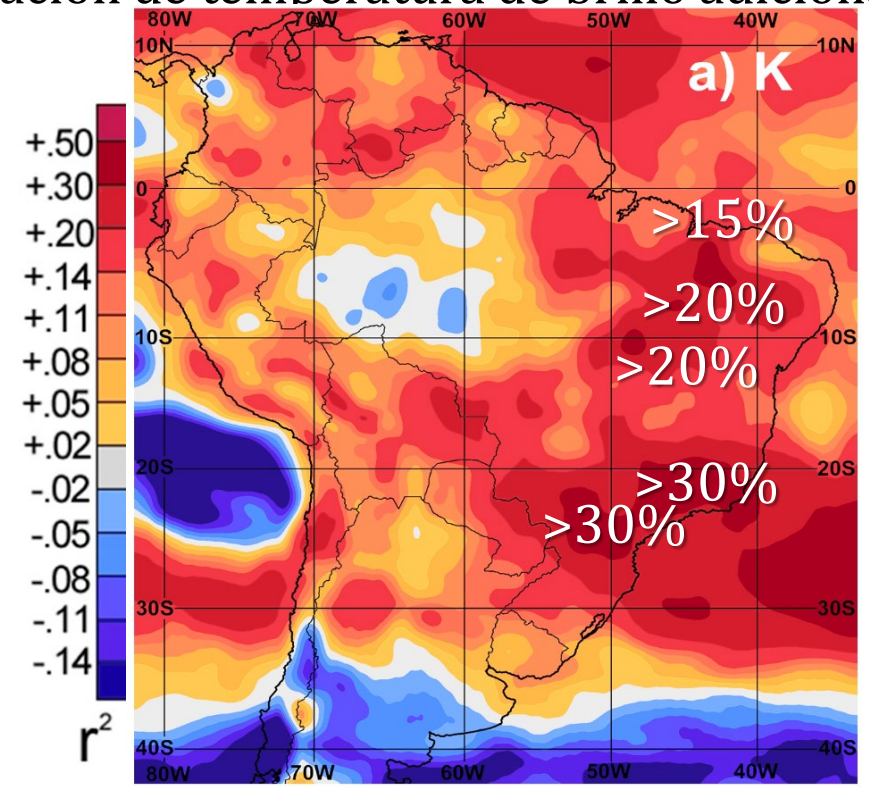
Sudamérica:

r ^{2} GDI vs Brillo de Temperatura



Mejora sobre la K

Variación de temperatura de brillo adicional detectada



- GDI superó a K en la mayor parte del dominio (>80 %).
- Menos habilidad en zonas extratropicales donde las masas de aire son demasiado frías y secas.
- Áreas de mayor beneficio, sureste de América del Sur tropical.
- GDI detectó un 15-30% adicional de variación de OLR.
- Más habilidad en Venezuela/Colombia en temporada seca que durante la lluviosa debido a una mayor incursión de masas de aire del Caribe durante la temporada más seca.

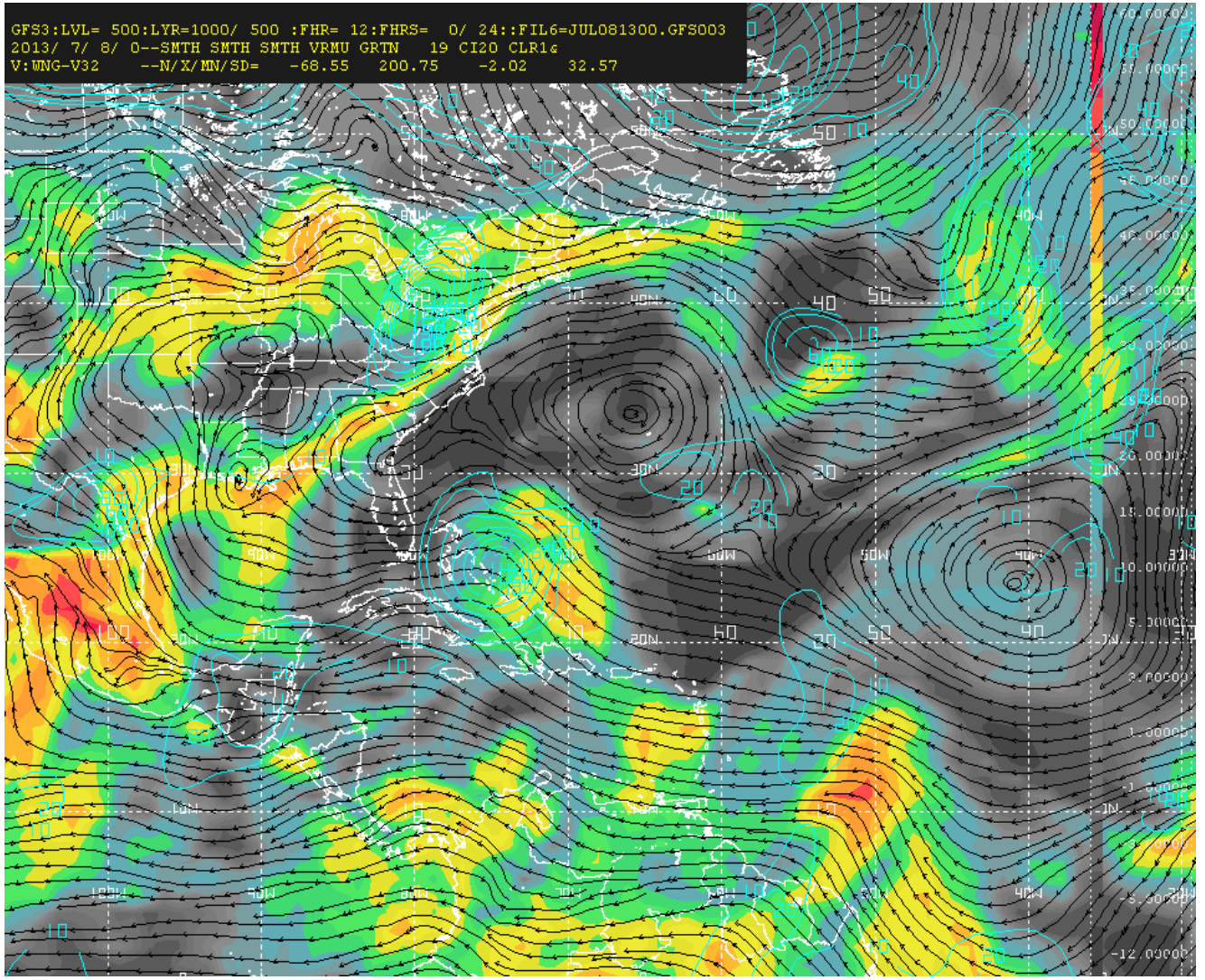
(1) GDI ayuda a rastrear las ondas en los alisios

Captura las señales de humedad e inestabilidad asociadas con las vaguadas en los alisios.

Bueno para ayudar a identificar

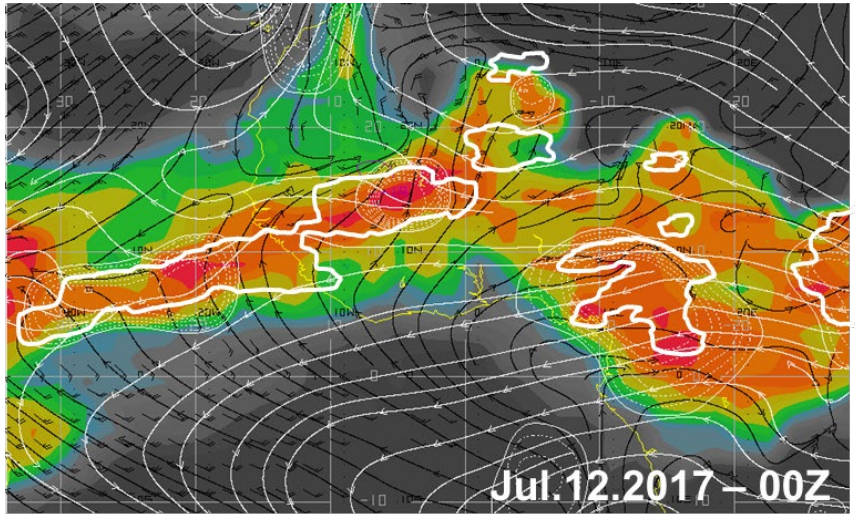
- Ondas del Este (EW)
- Perturbaciones inducidas por una vaguada en altura

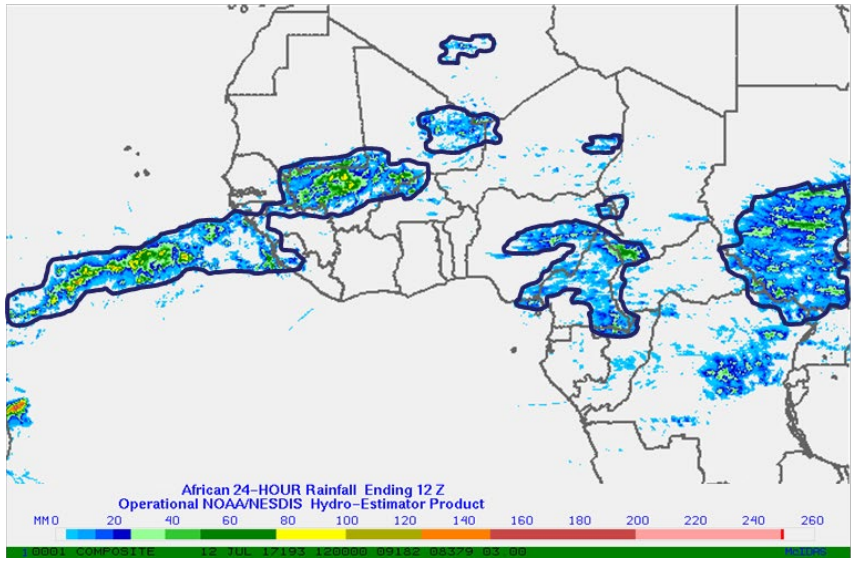
Por lo tanto, podría usarse como una herramienta para ayudar a identificar regiones para la ciclogénesis y evolución tropical.



(2) Mejora la detección de ITCZ/NET

- También permite detectar la ITCZ/NET.
- Bueno para detectar convección activa en la ITCZ/NET versus inactiva.
- Especialmente útil cuando los modelos resuelven la convección ITCZ en diferentes ubicaciones.
- Ideal para convección continental, especialmente ECMWF $_{2019}$ GDI



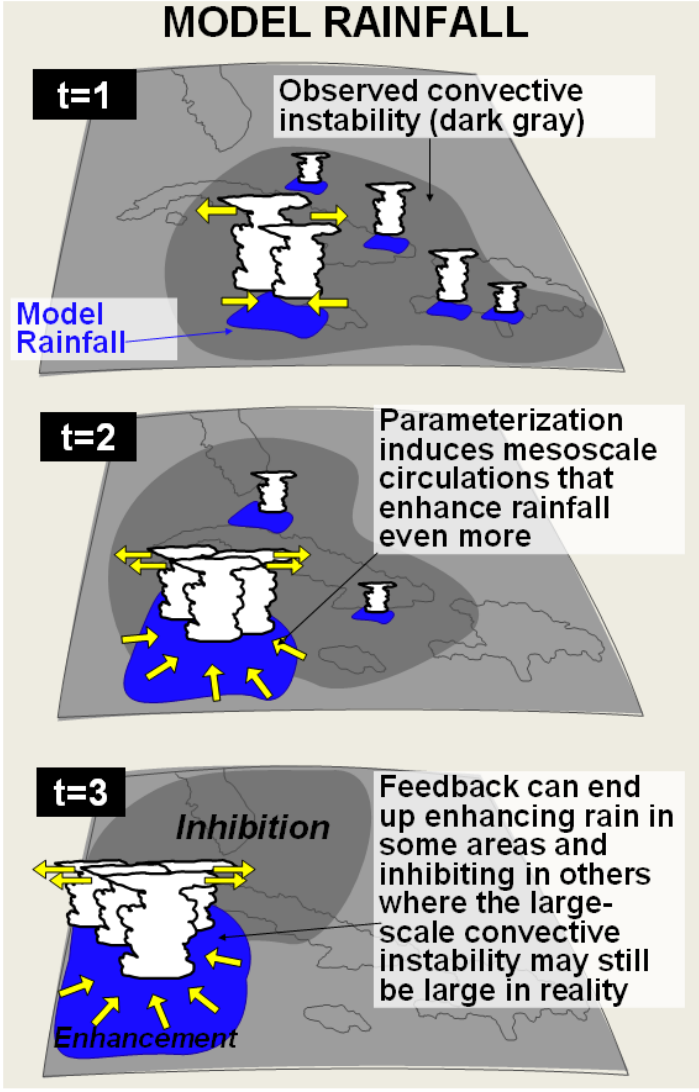


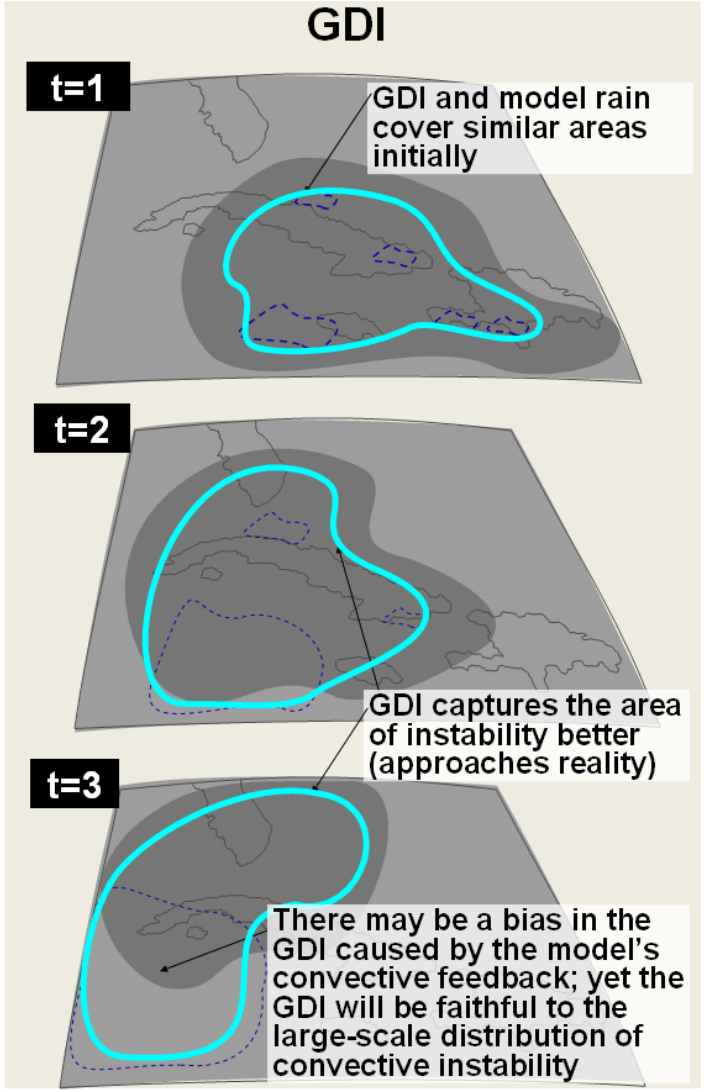
(3) Con el tiempo, el GDI es más confiable que el modelo de lluvia

El GDI está más relacionado con el contenido de humedad y otras variables que los modelos resuelven mejor que la precipitación, especialmente a lo largo del tiempo.

Los modelos tienden a generar errores de rápido crecimiento cuando se resuelve la convección profunda, porque los procesos de calentamiento por condensación son mesoescalares, difíciles de predecir y producen interacciones no lineales.

La retroalimentación convectiva puede alterar la precipitación del modelo

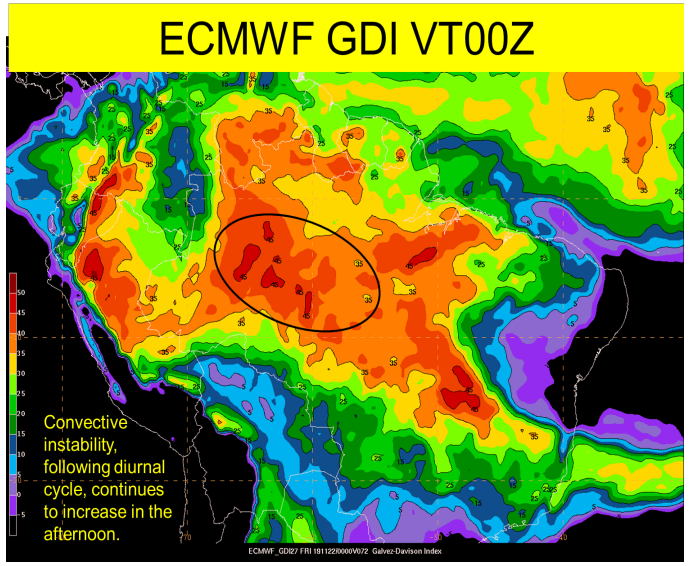


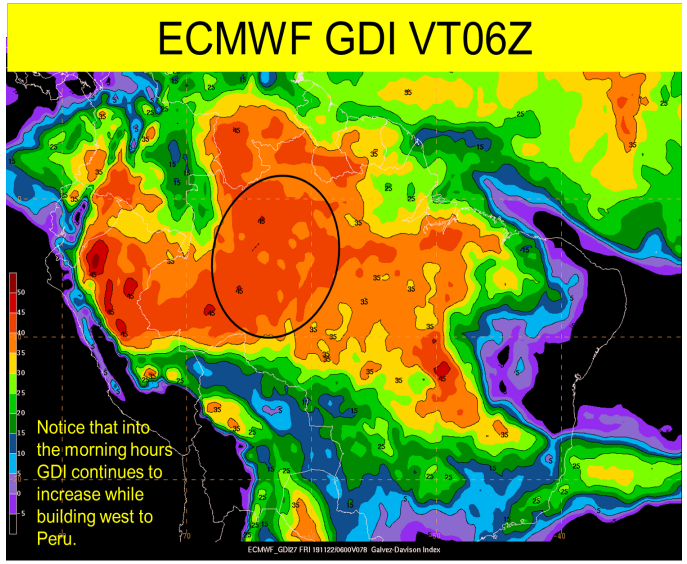


(4) Ayuda a identificar el potencial de MCS nocturno

- En un ciclo normal, el pico de inestabilidad convectiva debe coincidir con el calentamiento máximo.
  - Ambiente favorable para tormentas de masas de aire
  - En ausencia de forzamiento meso-sinóptico, se esperan cantidades de lluvia moderadas/localmente intensas

- ¿Qué sucede si el GDI alcanza su punto máximo durante la noche?
  - El ambiente podría ser favorable para la generación de Sistemas Convectivos de Meso Escala (MCS)
  - Fuertes lluvias
    - Dos picos de convección, uno por la tarde y un segundo pico mucho más fuerte durante la noche/madrugada.





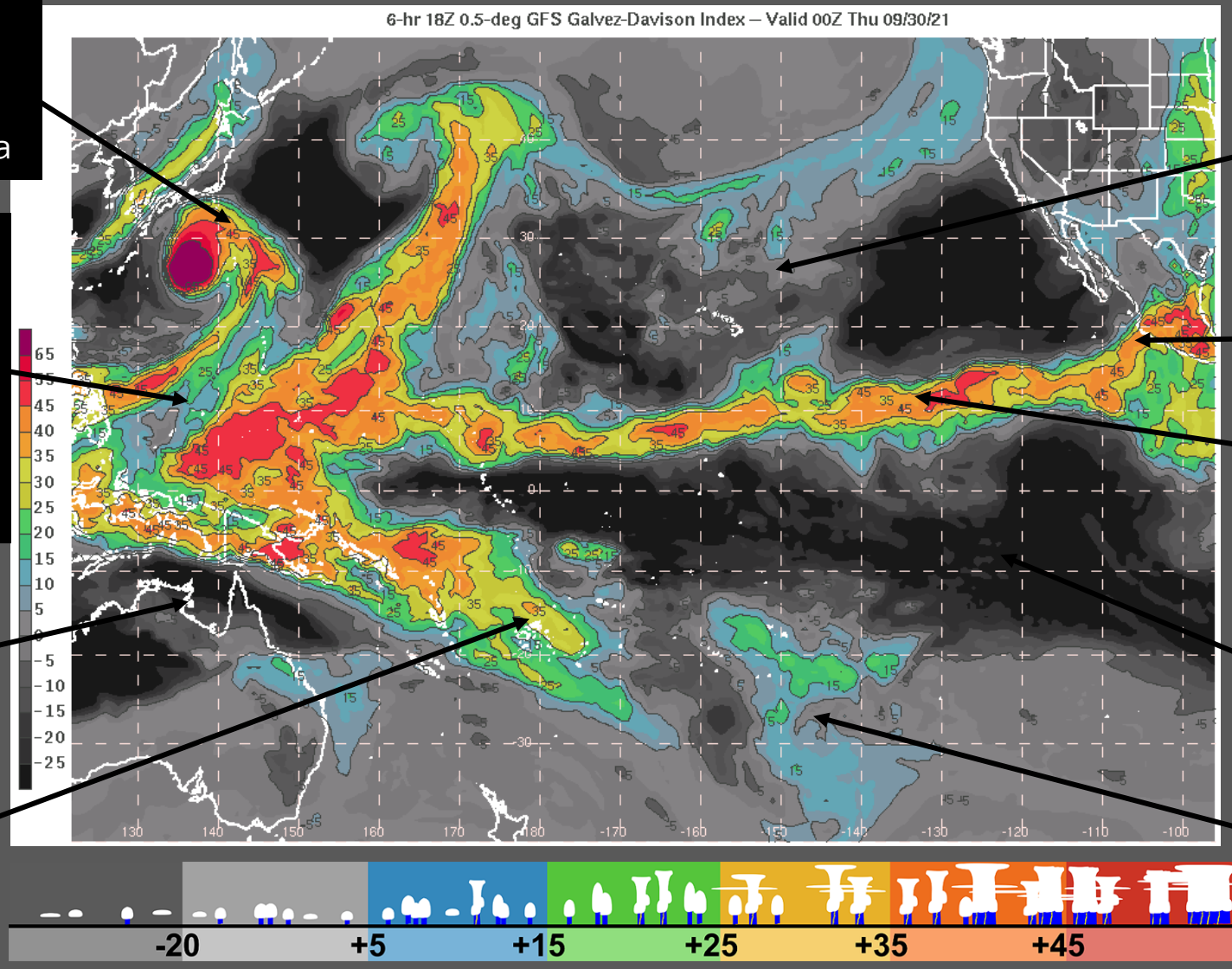
Ejemplos de aplicaciones operacionales del GDI

El ciclón Mindulle se debilita a medida que es arrastrado hacia el ENE por una vaguada en altura

Amplia región de alto GDI: Lluvia intensa de capa profunda que produce convección. Los ciclones tropicales pueden originarse en estas áreas.

Seco y estable en el norte de Australia, probable inversión de los vientos alisios

SPCZ se vuelve más activo cerca de Fiji hasta el 3 de octubre



La convección de los vientos alisios se vuelve más profunda debido a la desestabilización por una baja TUTT más adelante en el ciclo

Onda del Este

ITCZ Convección a lo largo de 10-13N en el EPAC y a lo largo de 05-10N en el WPAC

Subsidencia fuerte

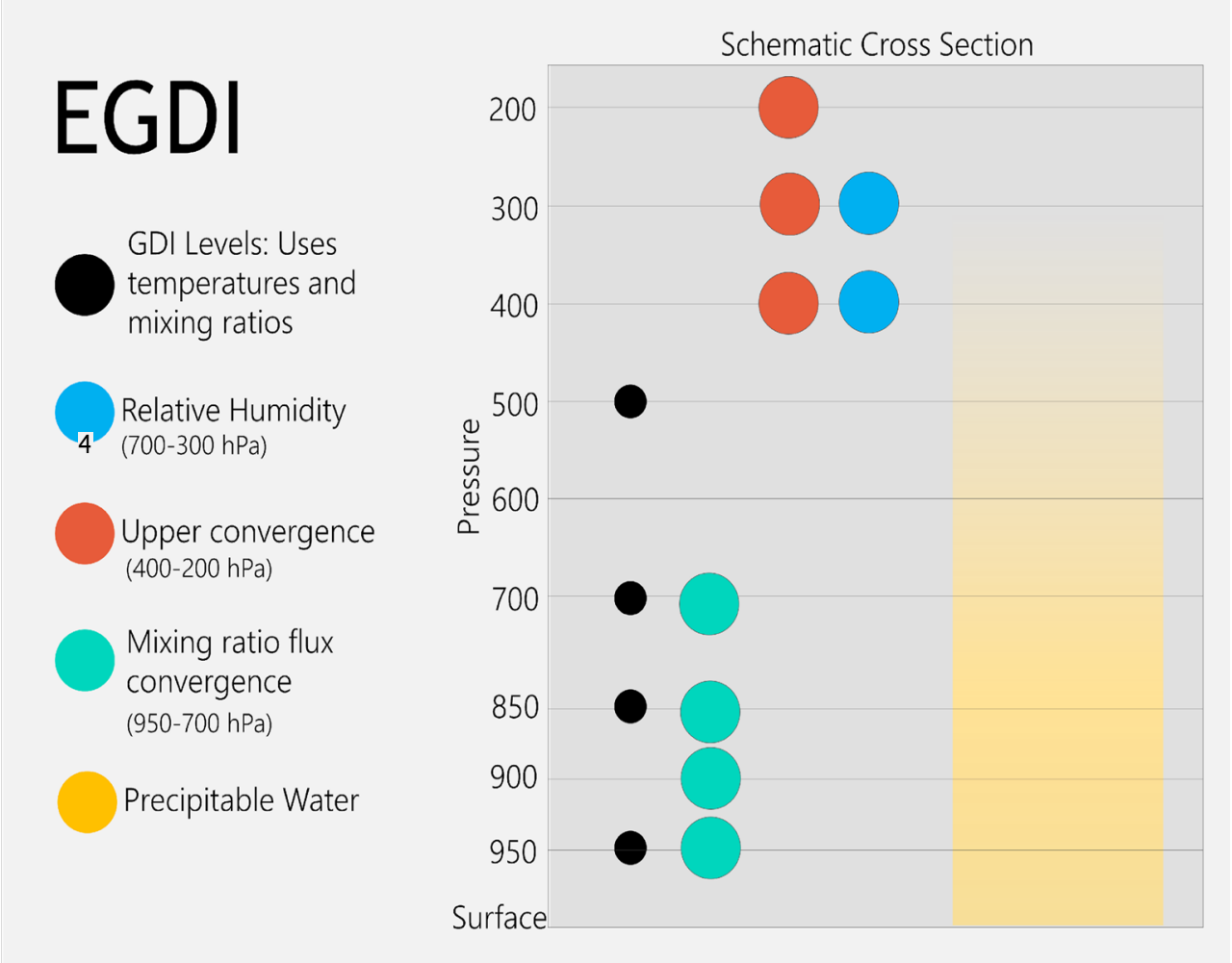
Organización del Río Atmosférico

GDI mejorado (EGDI)

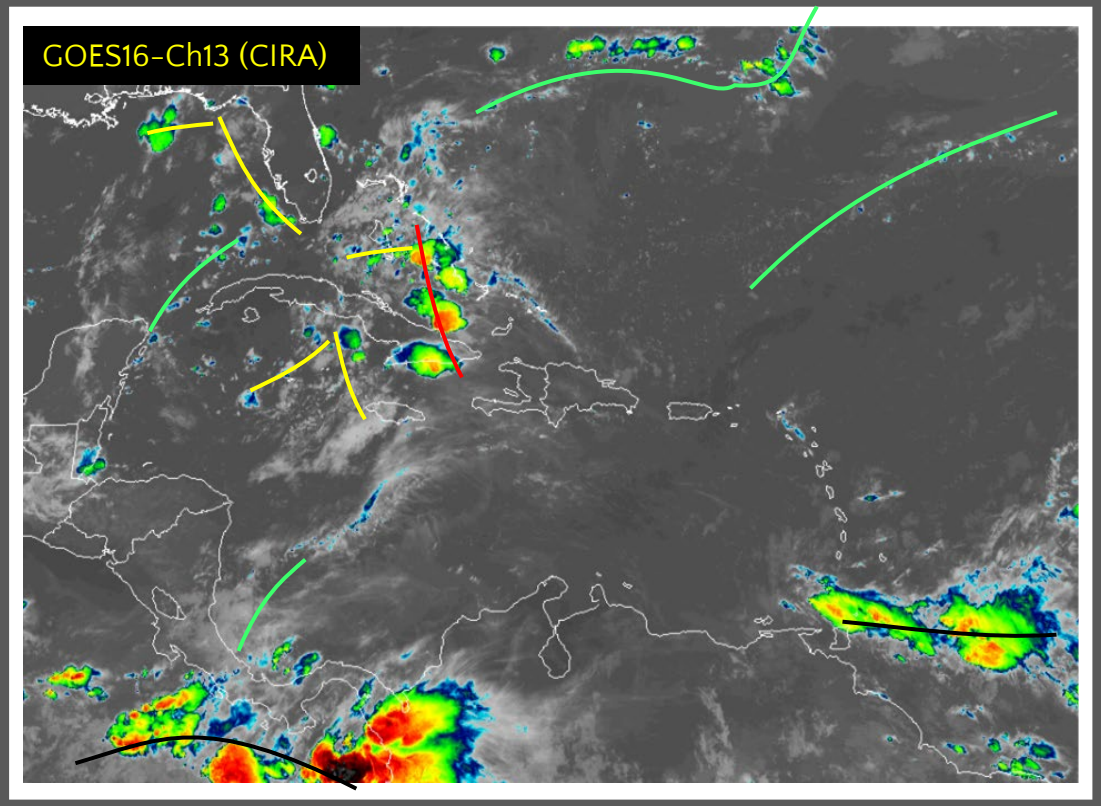
4 procesos adicionales agregados al GDI:

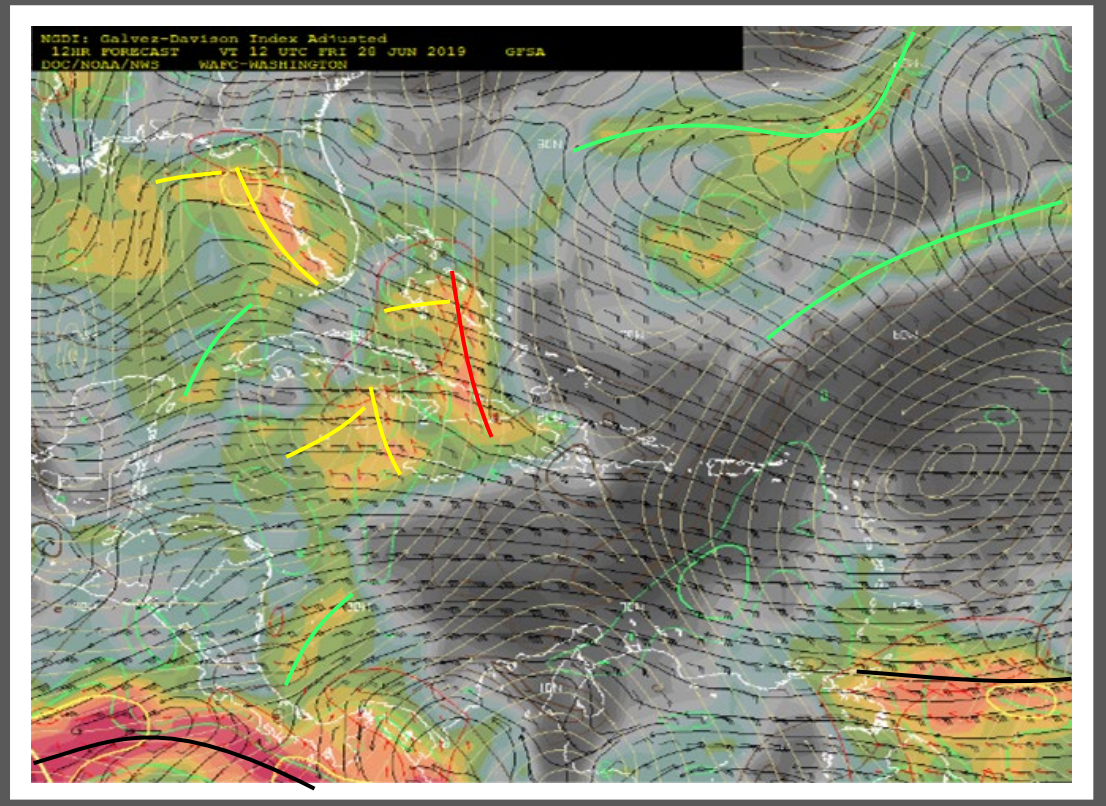
- Convergencia del flujo de humedad (950-700 hPa)
  Activación de la convección y adición de humedad.
- Convergencia superior (400-200 hPa)
  Estimula el descenso y las inversiones elevadas.
- Humedad relativa en altura (400-300 hPa)
  Se asocia con inversiones elevadas y procesos de arrastre seco que reducen las tasas de lluvia en convección profunda
- Agua precipitable
  TPW>30 mejora las tasas de lluvia y la convección.

La inclusión de propiedades derivadas del flujo (cantidades de convergencia) hace que el EGDI ya no sea un índice de estabilidad.

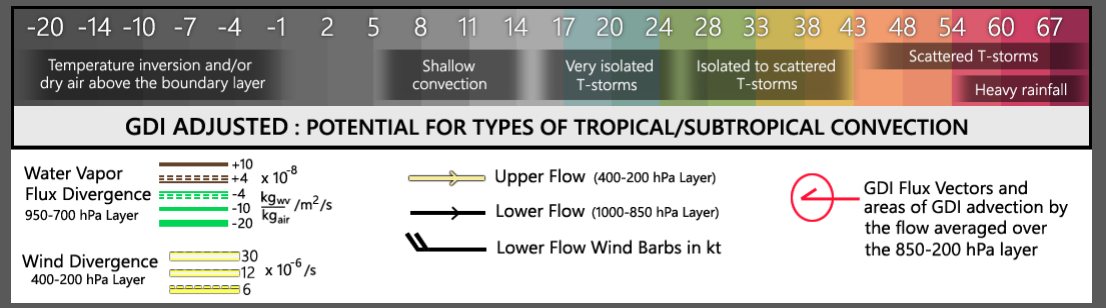


Índice mejorado de Gálvez-Davison (EGDI)





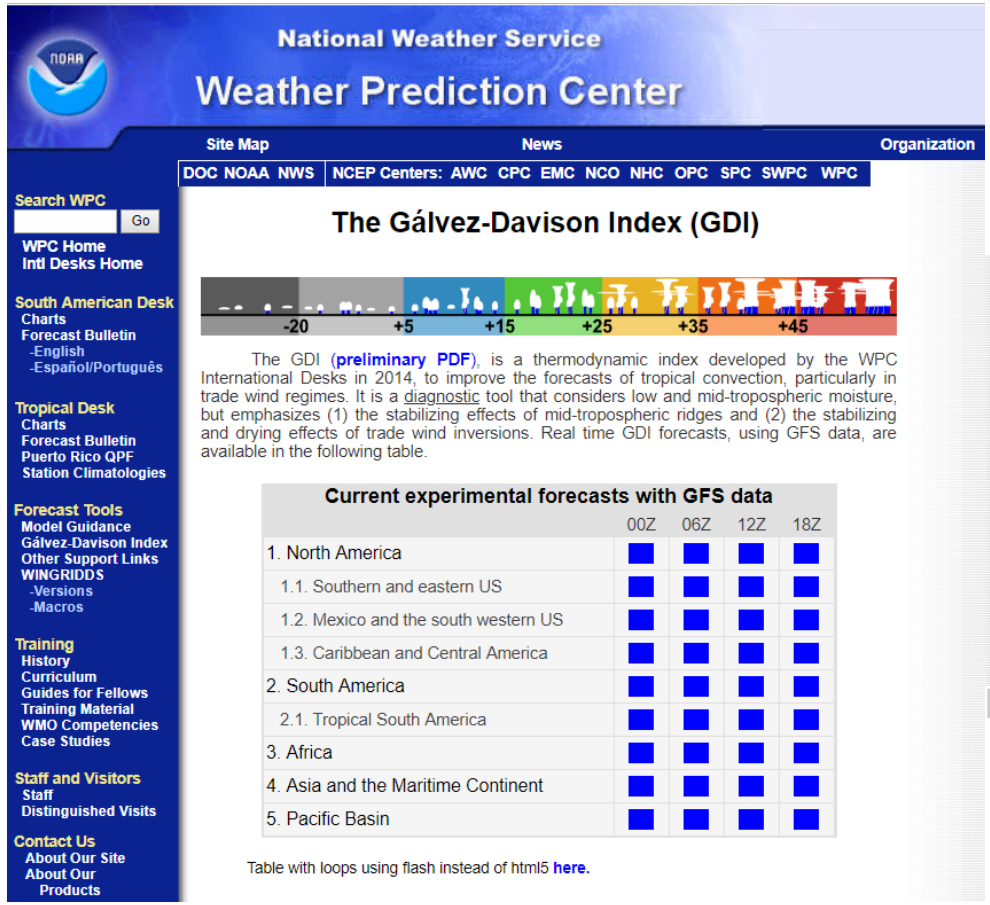
Las características convectivas en el IR de onda larga (canal de 10,3 um) generalmente se alinean bien con las áreas del producto GDI

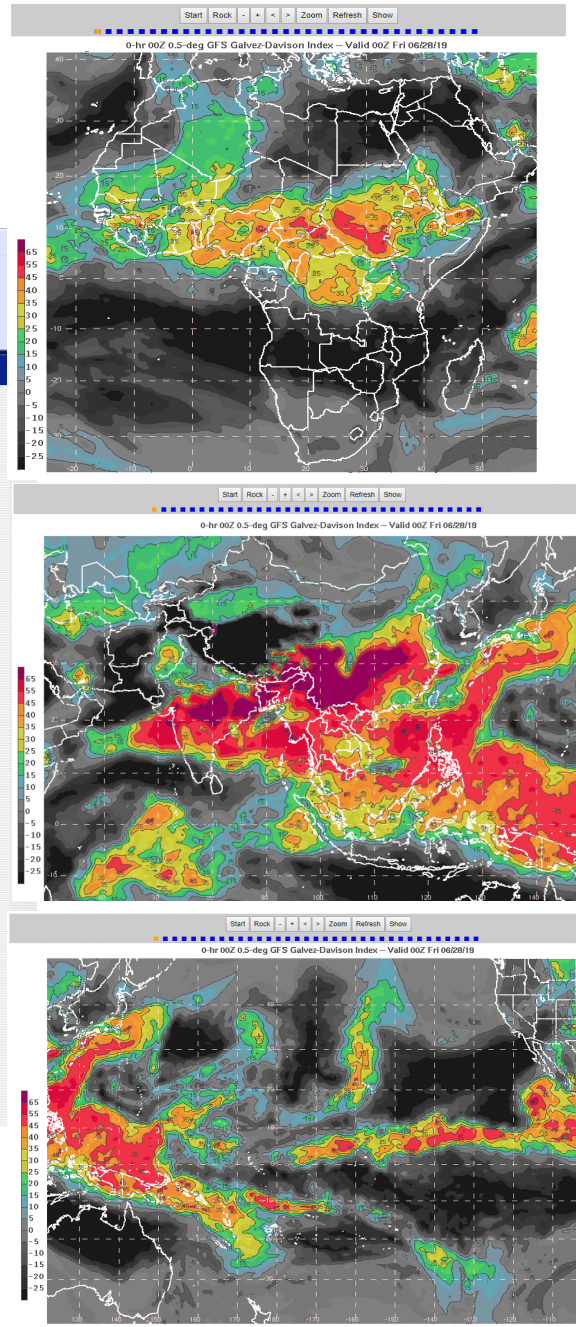


https://wpc.ncep.noaa.gov/international/wng/

Recursos en línea

- Enlace en el sitio web de International Desks (menú de la izquierda)
  - El acceso a los:
    - manuscrito **(incluye algoritmo del cálculo)**
    - Animaciones actuales del GFS GDI para diferentes sectores del mundo durante 168 horas (7 días)
    - Presentaciones
    - Estudios relacionados





https://www.wpc.ncep.noaa.gov/international/gdi/

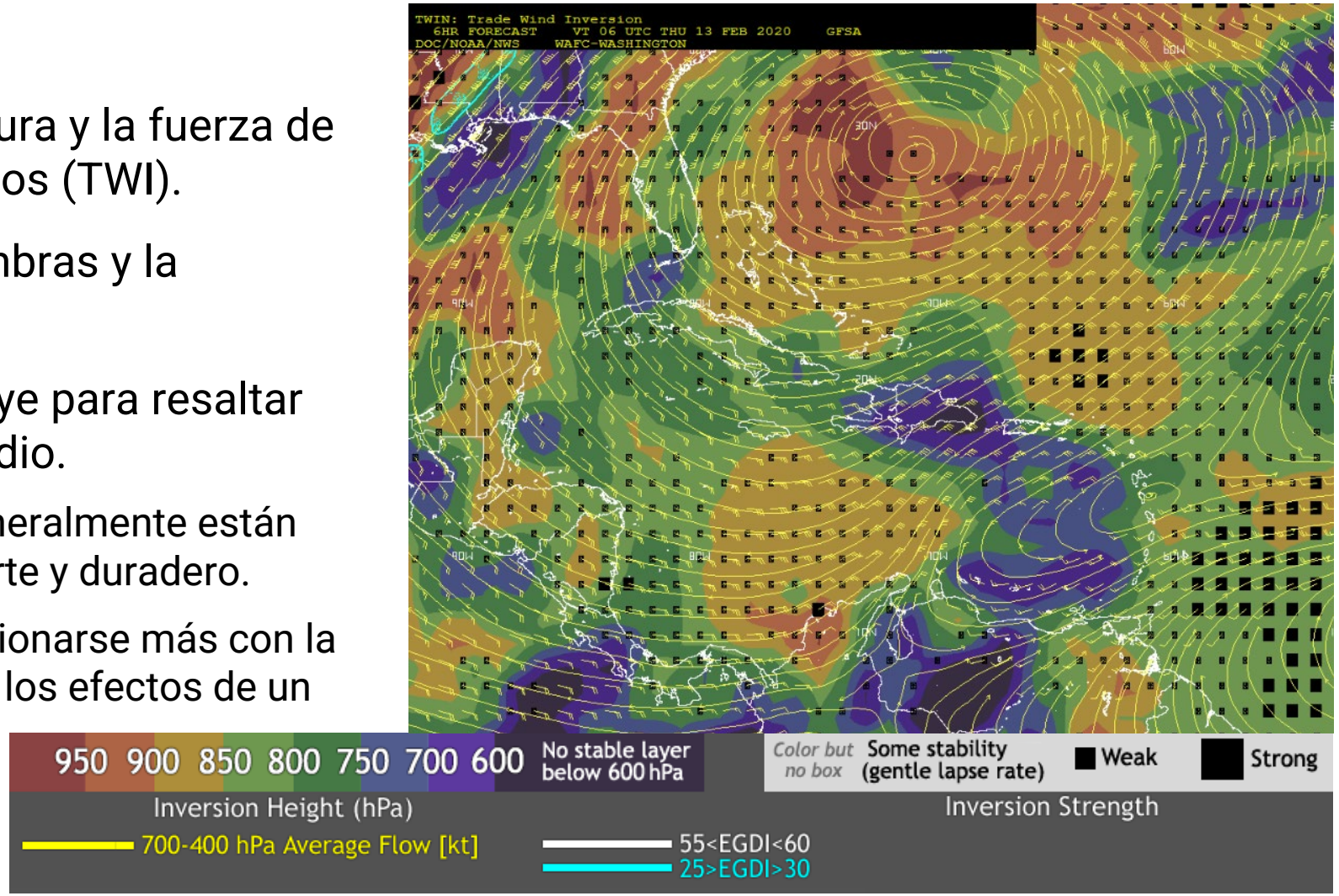
04

La herramienta de identificación de reversión de vientos alisios (TWIN)

Herramienta para identificar la inversión los de vientos alisios

¿Qué es?

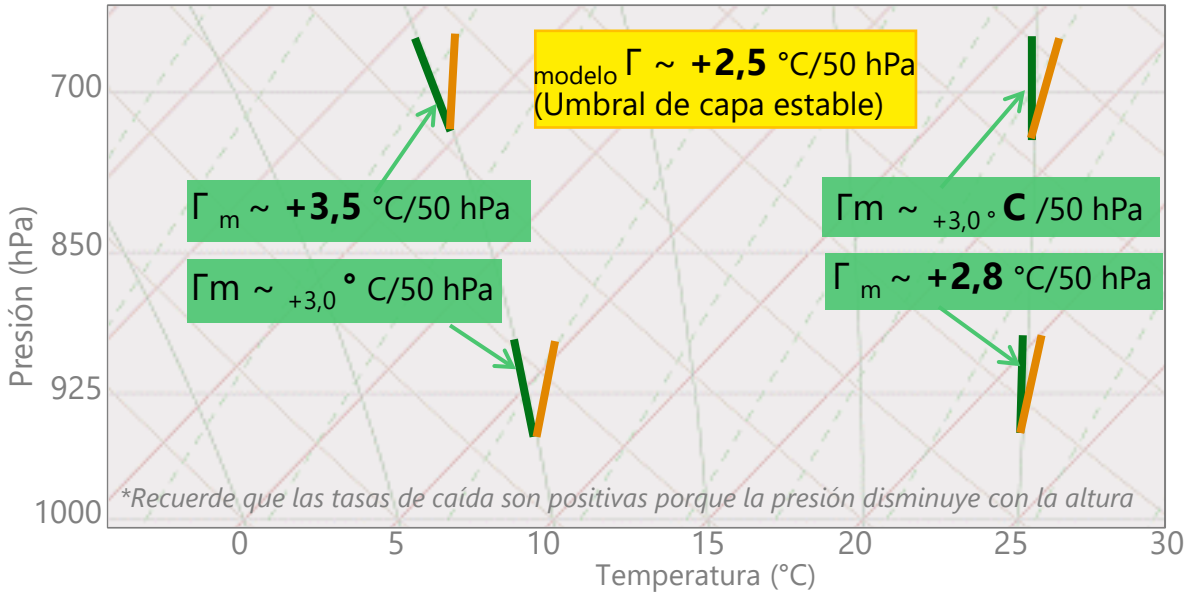
- Algoritmos que detectan la altura y la fuerza de la inversión de los vientos alisios (TWI).
- La altura se representa en sombras y la intensidad en cuadrados.
- El flujo de nivel medio se incluye para resaltar vaguadas y crestas a nivel medio.
  - Las crestas a nivel medio generalmente están vinculadas a un TWI más fuerte y duradero.
  - Las vaguagas tienden a relacionarse más con la convección y pueden señalar los efectos de un TUTT o de ondas del este.



Herramienta para identificar la inversión los de vientos alisios

¿Cómo se detecta la inversión?

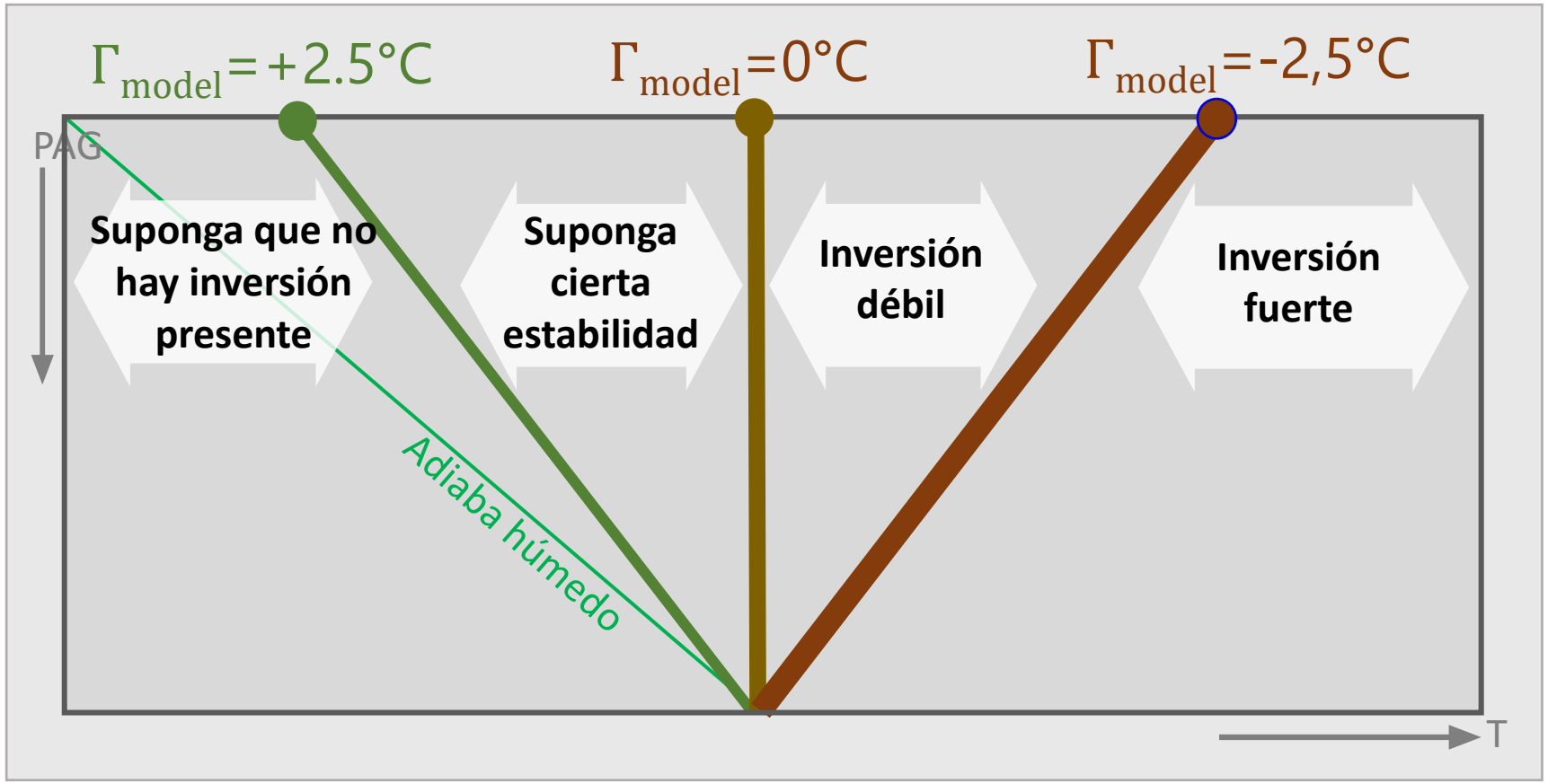
- Comparando el modelo de tasa de caída de temperatura $_{\text{del modelo}}\Gamma$ con la tasa de caída adiabática húmeda Γ_m.
- Γ_m representa la velocidad de enfriamiento de las parcelas saturadas ascendentes.
- Valores típicos de Γ_m en la troposfera media-baja del Caribe: +2,8 a +3,5 °C/50hPa :
  - Capa estable: si $\Gamma_{\text{modelo}} < \Gamma_m$
  - modelo < +2,8 °C/50hPa → cierta estabilidad está presente.



La presencia de "alguna" estabilidad se define con un umbral fijo de **$\Gamma_{\text{modelo}} < +2{,}5$°C/50 hPa** . Esto se puede mejorar, pero este valor nos está funcionando hasta ahora.

Herramienta para identificar la inversión los de vientos alisios

Para una capa dada de 50 hPa:



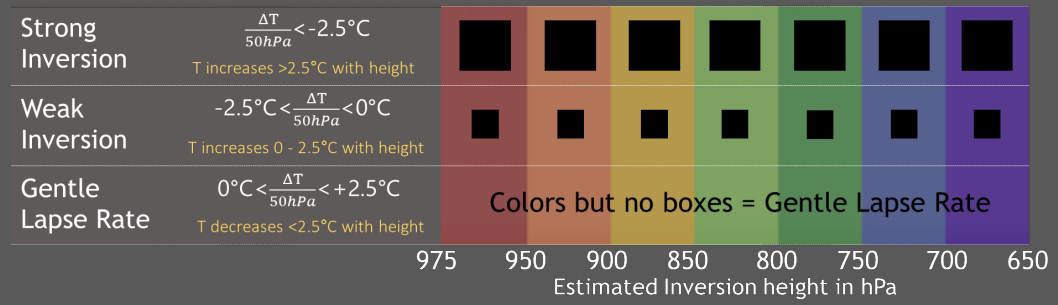
Herramienta para identificar la inversión los de vientos alisios

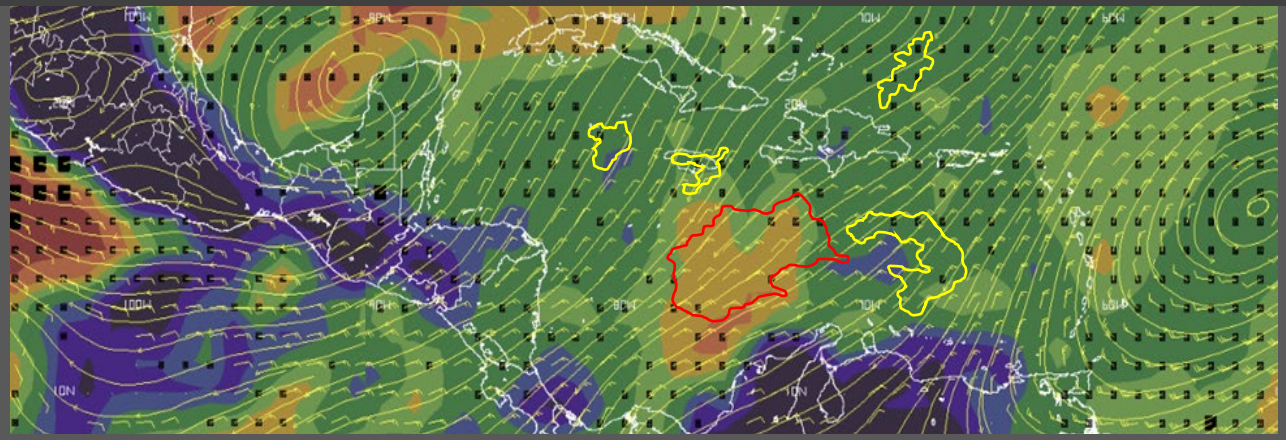
How is the inversion represented?

Inversión fuerte	$\frac{\Delta T}{50hPa} < -2.5°C$ T aumenta >2.5°C con la altura	
Inversión débil	$-2.5°C < \frac{\Delta T}{50hPa} < 0°C$ T aumenta 0 - 2.5°C con la altura	
Tasa de Cambio suave	$0°C < \frac{\Delta T}{50hPa} < +2.5°C$ T disminuye <2.5°C con la altura	Colores pero sin recuadros = Tasa de cambio suave

Gris oscuro significa que no se encontró una capa estable por debajo de 600 hPa

Herramienta para identificar la inversión los de vientos alisios



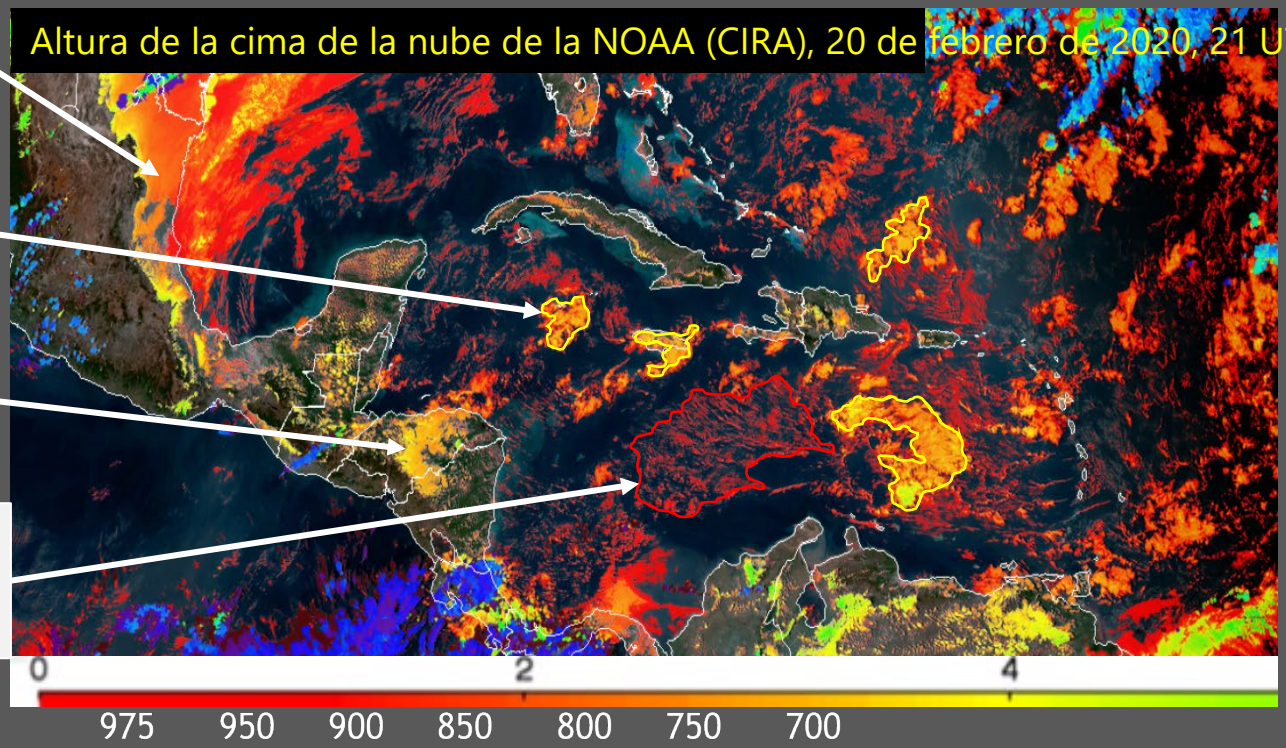


Inversión frontal inclinada (gradiente de color) y fuerte (nublado) en el NE de México, es consistente con el TWIN.

El aglomerado de nubes al sur de las Islas Caimán alcanza los 750 hPa, en consonancia con el TWIN.

Convección en Honduras supera los 700 hPa, sugerido por el TWIN.

La tasa de cambio suave en las zonas bajas del TWIN es consistente con la convección poco profunda y el arrastre de aire seco, lo que genera campos de Cumulus de buen tiempo en el Caribe Central.



05

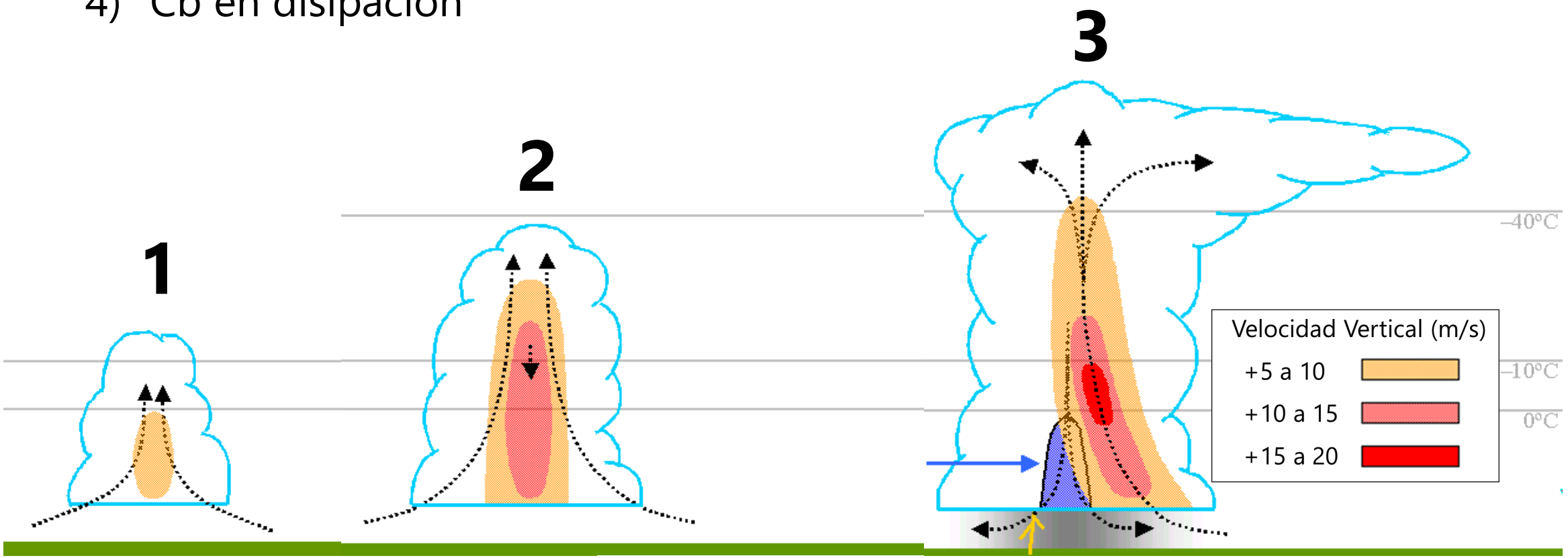
Tormentas eléctricas y tormentas eléctricas severas

Tormentas eléctricas

- Nube convectiva profunda que desarrolla electrificación (relámpago). Las nubes son Cumulonimbus (Cb).
- La electrificación de la nube ocurre cuando se forma hielo dentro de la nube.
- Las cimas de las nubes de -20C, o menos, muestran un alto potencial de formación de hielo.
- Como resultado, podemos usar el movimiento vertical con respecto a la isoterma de -20C para determinar cuándo las Cumulus Congestus (TCu) evolucionan a Cumulunimbus (Cb).

Fases de las tormentas

1) Cúmulo
2) Cumulus congestus o Tower Cumulus (Tcu)
3) Cb maduro
4) Cb en disipación



Clasificación de tormentas eléctricas severas (estándares NWS de EE. UU.)

- Tormentas con vientos > 50 Kt
- Granizo > 20 mm (0,75”)
- Tornados
- Preste atención a las tormentas con cimas cerca/sobrepasando la tropopausa
- Cuando la tormenta alcanza su punto máximo a 1,5 km de la tropopausa
- Determine la temperatura/altura de la tropopausa a partir de la guía del modelo y/o RAOBS.
- Compare las cimas de las nubes frías en las imágenes de satélite con la temperatura analizada de la tropopausa

Parámetros Severos para Uruguay/Argentina (INUMET)

Helicidad relativa a la tormenta (HRT o SRH) 0-1km
< -150 $m^2 s^{-2}$: rotación cerca de la superficie (tornados)

Helicidad relativa a la tormenta (HRT o SRH) 0-3k
< -300 $m^2 s^{-2}$: rotación en bajos niveles (superceldas - SC)

Cizalladura 0-3km (Cizalla 0-3)
Unicelular: hasta 10 m·s-1.
Multiceldas : 10 a 20 m·s-1.
Supercélulas : pueden alcanzar hasta los 50 m·s-1 .

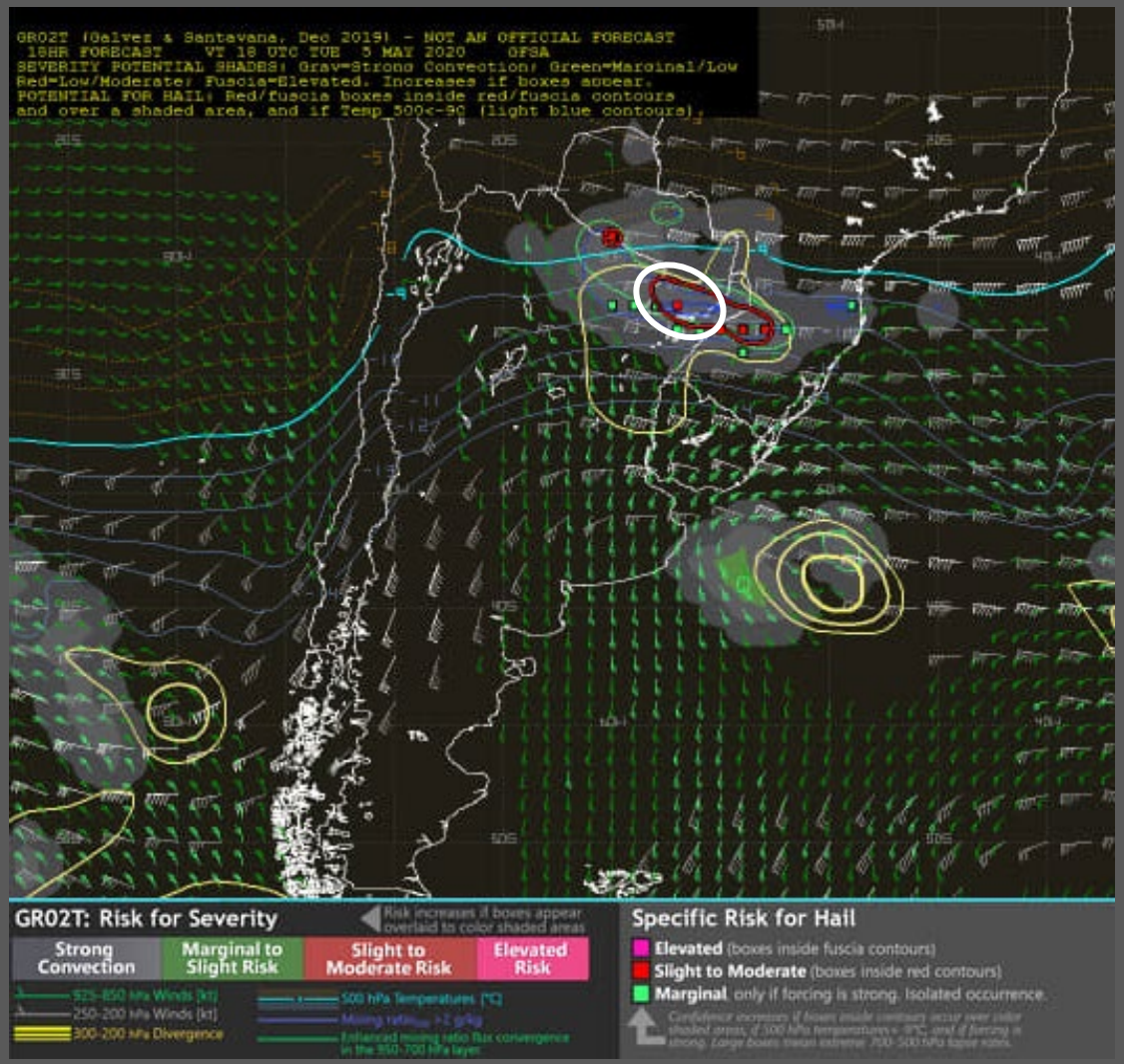
Cizalladura 0-6km (Cizalla 0-6)
< 10ms^{-1} → Tormentas poco organizadas
Entre 10 / 15ms^{-1} → Tormentas organizadas
Entre 15 / 25ms^{-1} → Tormentas muy organizadas (SC)
25ms^{-1} → Tormentas com rotación intensa

Energía potencial disponible para la convección (*Convectiva Disponible Energía Potencial - CAPE*)
< 500 J kg^{-1} → baja inestabilidad
Entre 500 / 1500 → inestabilidad moderada
Entre 1500 / 3000 → alta inestabilidad
> 3000 → inestabilidad extrema

Índice de elevación (*Índice de elevación* - LI)
LI > 0 → sen inst. termodinámica
- 2 < LI < 0 → inestabilidad baja
- 4 < LI < - 2 → inestabilidad moderada
- 6 < LI < - 4 → inestabilidad alta
LI < - 6 → inestabilidad extrema

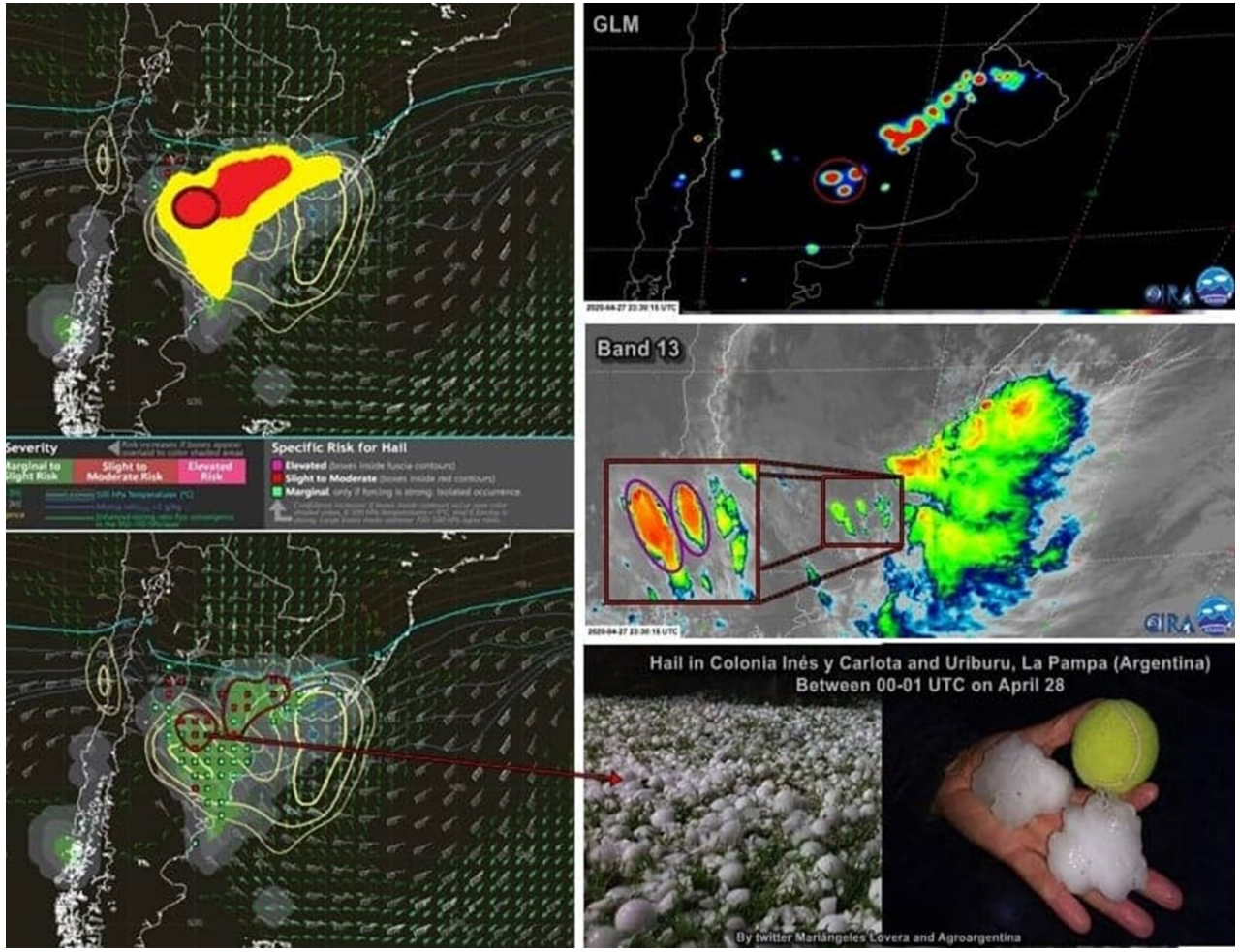
Convección Severa y el Algoritmo GR02T para la Detección de Tiempo Severo y Granizo

Evento de granizo en Sudamérica



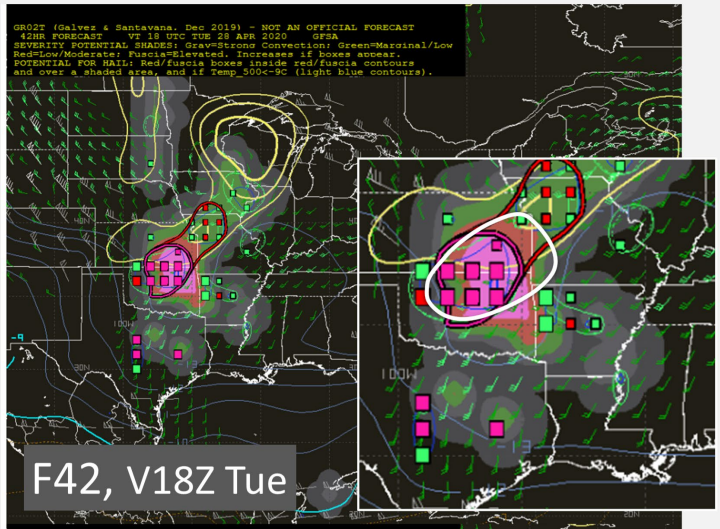
GR02T: Algoritmo para pronosticar tiempo severo y granizo

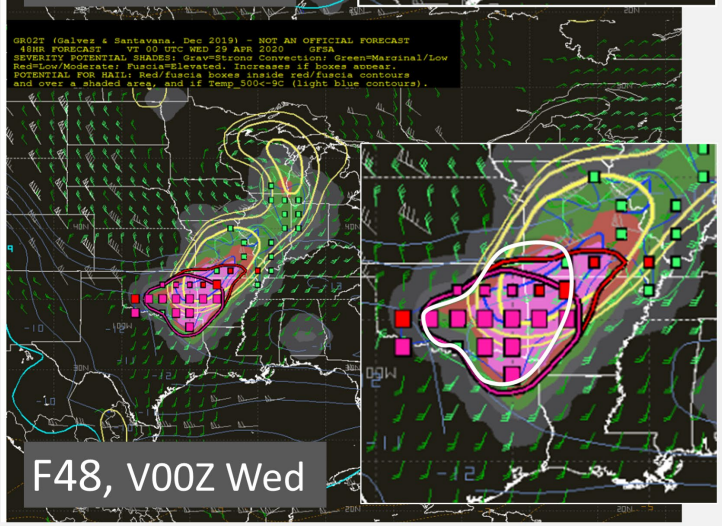
- Basado en algoritmos de pronóstico de granizo desarrollados para Sudamérica GR01 y GR02 (Gálvez y Santayana , 2015 y 2019), desarrollados para Uruguay/norte de Argentina.
- Adecuado para una gama más amplia de tiempo severo.
- Si las temperaturas medias (500 hPa) son demasiado frías (<-8 °C) y/o el terreno es elevado, el riesgo de granizo aumenta.
- El granizo también es más probable en un terreno más amplio. No tanto en islas pequeñas debido al calentamiento diurno limitado.



GR02T Interpretación

Monday 00Z Initialization





GR02T: Risk for Severity

Risk increases if boxes appear overlaid to color shaded areas

Strong Convection	Marginal to Slight Risk	Slight to Moderate Risk	Elevated Risk

925-850 hPa Winds [kt]

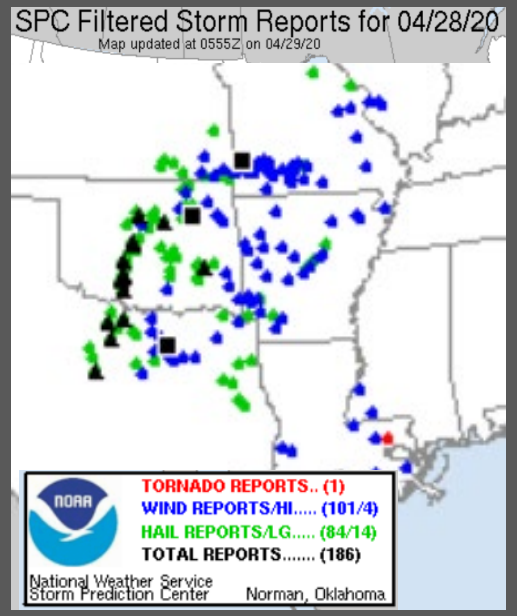
250-200 hPa Winds [kt]

300-200 hPa Divergence

-9 500 hPa Temperatures [°C]

Mixing ratio$_{500}$ >2 g/kg

Enhanced mixing ratio flux convergence in the 950-700 hPa layer.



Specific Risk for Hail

Elevated (boxes inside fuscia contours)

Slight to Moderate (boxes inside red contours)

Marginal, only if forcing is strong. Isolated occurrence.

Confidence increases if boxes inside contours occur over color shaded areas, if 500 hPa temperatures<-9°C, and if forcing is strong. Large boxes mean extreme 700-500 hPa lapse rates.

Procesos que causan Granizo

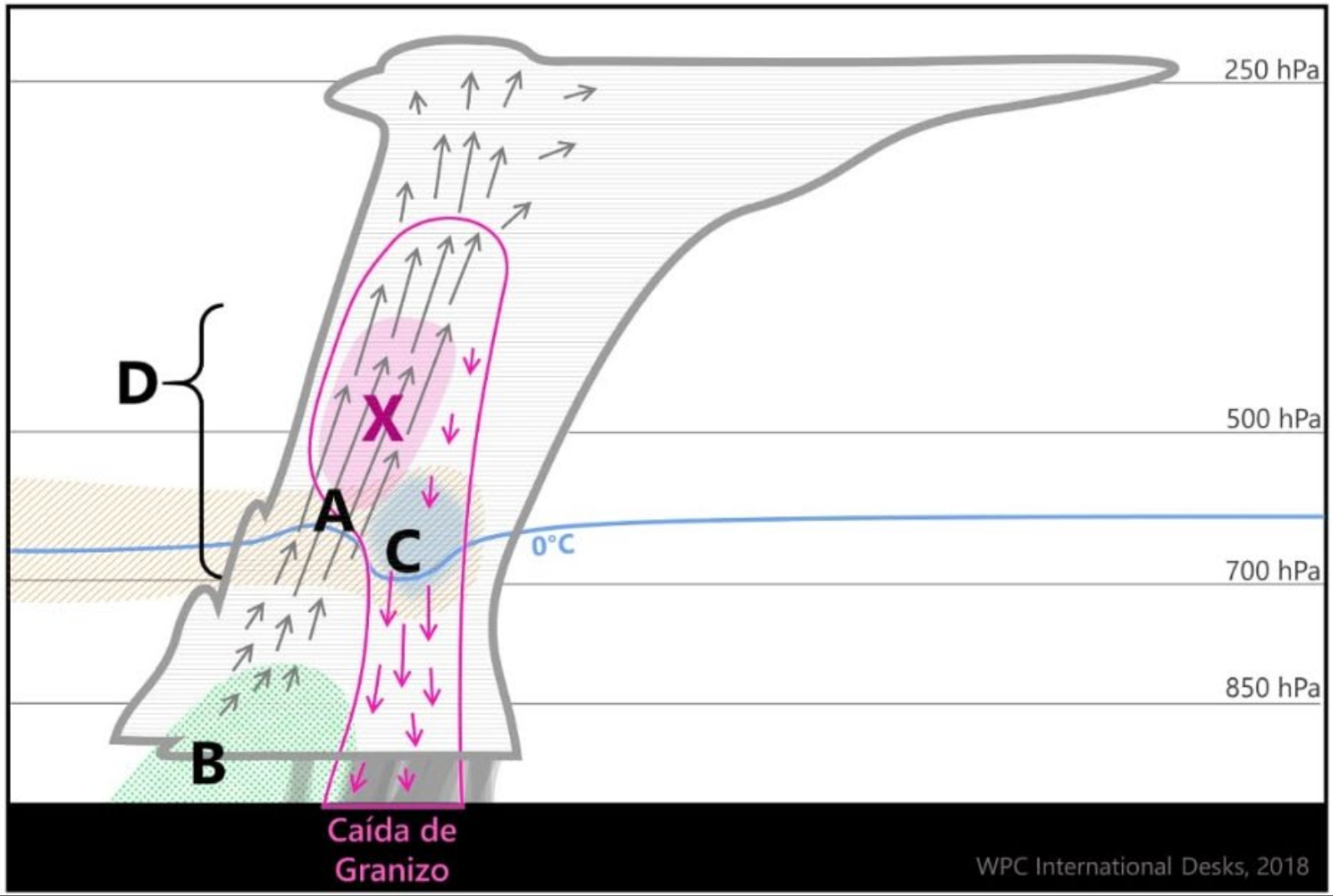
X **Ambiente favorable para el crecimiento de la piedra de granizo**
Capa húmeda (r_{500}>1 g/kg), engelante: saturada y T ∈ [0 a -20°C], gotas de agua sobre enfriada y ascensos intensos que mantienen a la piedra flotando y creciendo por periodos largos.

A **Ascensos intensos (500-700 hPa)**
Estimulados por ascensos en toda la columna, pero especialmente sensibles a inestabilidad en la capa 500-700 hPa (ΔT/ΔZ> 16°C).

B **Abundante convergencia de vapor de agua (1000-850 hPa)**
Frontera húmeda: Frente, vaguada, frente de rachas, línea de inestabilidad, salida ciclónica del chorro de capas bajas, etc.

C **Enfriamiento en nivel medio**
Ayuda a preservar la piedra durante mayor tiempo. Favorables: Isoterma 0°C por debajo de 650 hPa y/o RH 700_{hPa} ~ 30-70% (enfriamiento por evaporación en la descendente).

D **Cizalla vertical**
Evita que las corrientes ascendente y descendente se eliminen y transporta el granizo a la descendente.



GR02T: Generación de Zonas de Sombra
“Potencial de gravedad”

(1) Detección de áreas con potencial para una fuerte convección húmeda profunda

a) Se crean máscaras binarias:

-Contienen “1” donde se identifica una variable favorable, “ceros” en caso contrario.

-Se crean máscaras para

-PWAT > 20 mm – Humedad de capa profunda

-LI<0°C – Inestabilidad de capa profunda

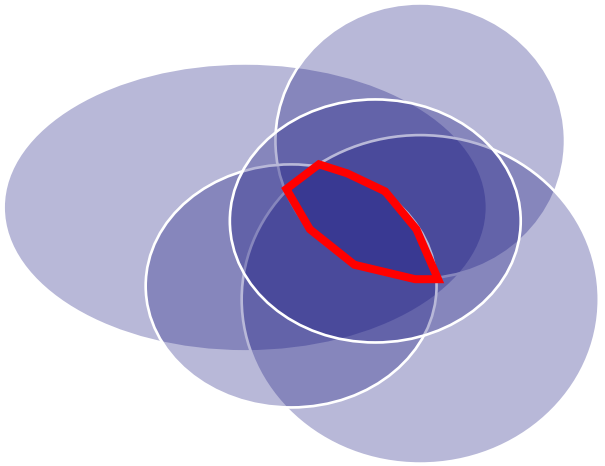
-T_{600} < +2°C – Inestabilidad media o aire frío

-$RH_{700\text{-}500}$ > 80% – Saturación en capa de formación de granizo

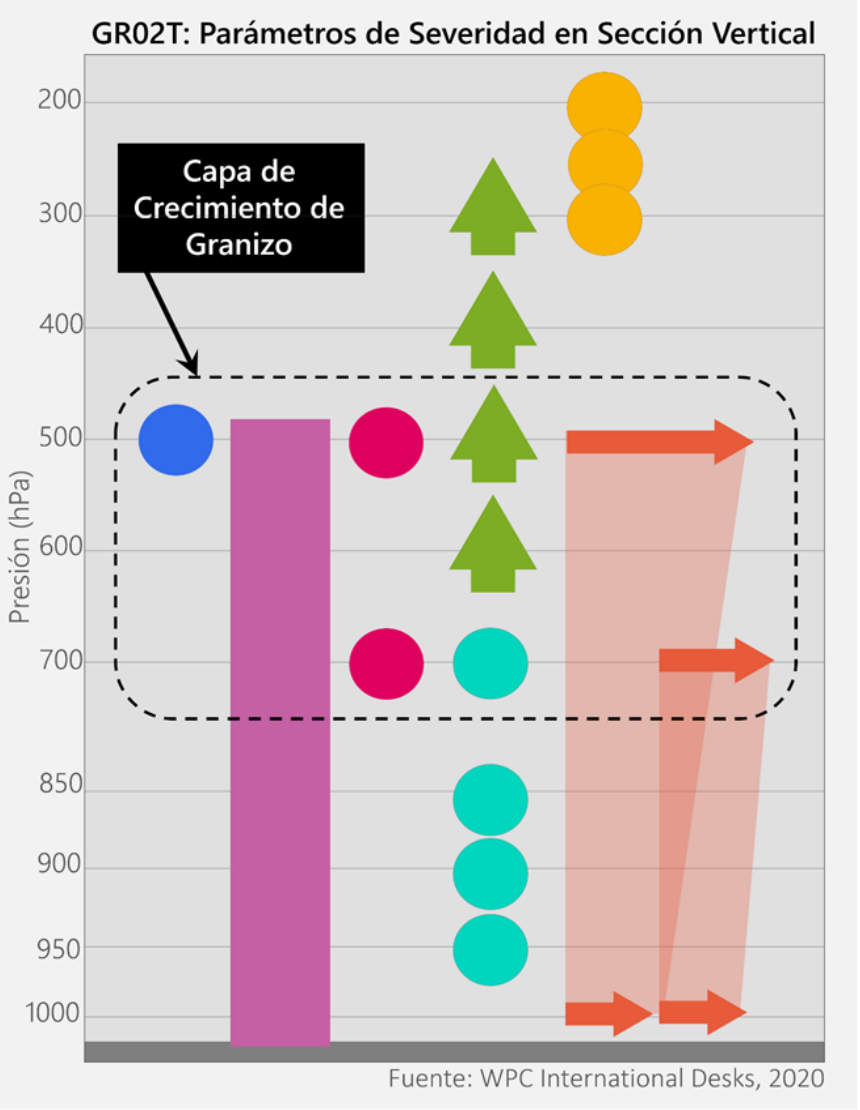
-$OMEGA_{600\text{-}300}$ < -10^{-4} Pa s^{-1} – Ascenso inducido dinámicamente

b) Se multiplican:

-Por lo tanto, “1” estará presente SOLAMENTE cuando estos 5 factores se multipliquen.



GR02T: Llenado las máscaras de “Convección húmeda profunda fuerte” con valores



1 **Aire frío en nivel medio**
T_{500} < -8°C

2 **Inestabilidad profunda**
Indice Lifted < 0°C

3 **Inestabilidad en nivel medio**
T_{700} - T_{500} > 16°C

4 **Ascensos dinámicos**
$OMEGA_{600-300}$ < 0 Pa s^{-1}

5 **Convergencia de humedad en nivel bajo** (DFR=Divergencia del flujo de razón de mezcla negativa)
$DFR_{950-700}$ < -0.5 10^{-8} kg kg^{-1} m^{-2}

6 **Promedio simple de la Cizalla de 0-3km y de 0-6km**
Shr_{0-3km} Shr_{0-6km} > 20 m s^{-1}

7 **Divergencia en altura**
$Div_{300-200}$ > 1.3 10^{-5} s^{-1}

Aire frío en los niveles medios

Inestabilidad de la capa

Inestabilidad de la capa media (clave para el crecimiento del granizo)

Movimiento vertical (ascenso)

Cobertura del flujo de relación de mezcla (convergencia de humedad)

Cizalladura vertical del viento por debajo de 500 hpa, estimula la fuerza de la corriente ascendente

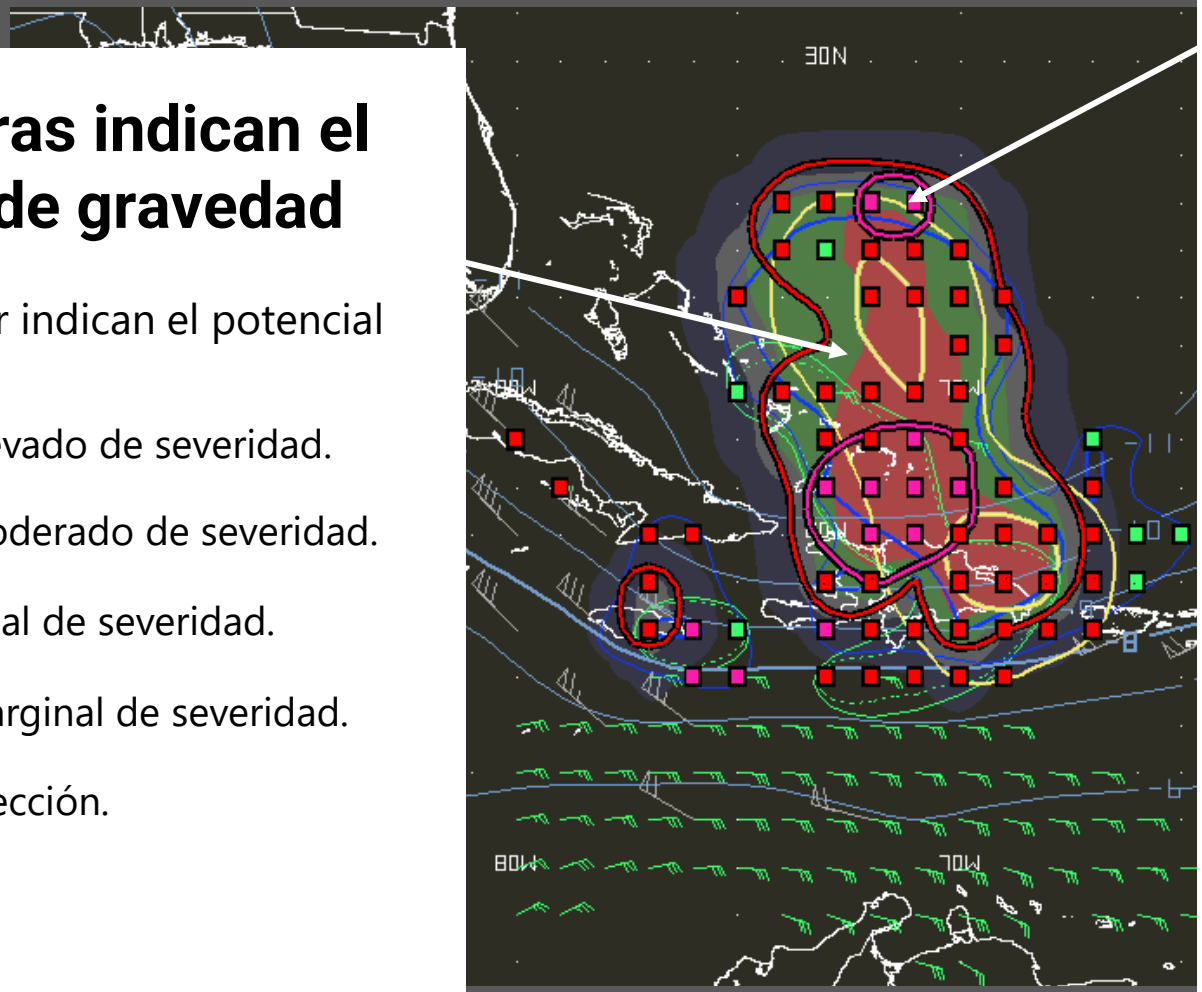
La divergencia superior fortalece el ascenso y refleja el papel de los chorros superiores.

Interpretación de GR02T

Las sombras indican el potencial de gravedad

Los tonos de color indican el potencial de gravedad:

- Potencial elevado de severidad.
- Potencial moderado de severidad.
- Bajo potencial de severidad.
- Potencial marginal de severidad.
- Fuerte convección.



Las cajas y los contornos son para pronóstico de granizo

Los recuadros se dibujan cuando se intercepta lo siguiente: tasas de caída pronunciadas de 700-500 hPa (>16 °C) e índice elevado inestable; y ascenso inducido dinámicamente u omega negativo en la capa de 600-300 hPa.

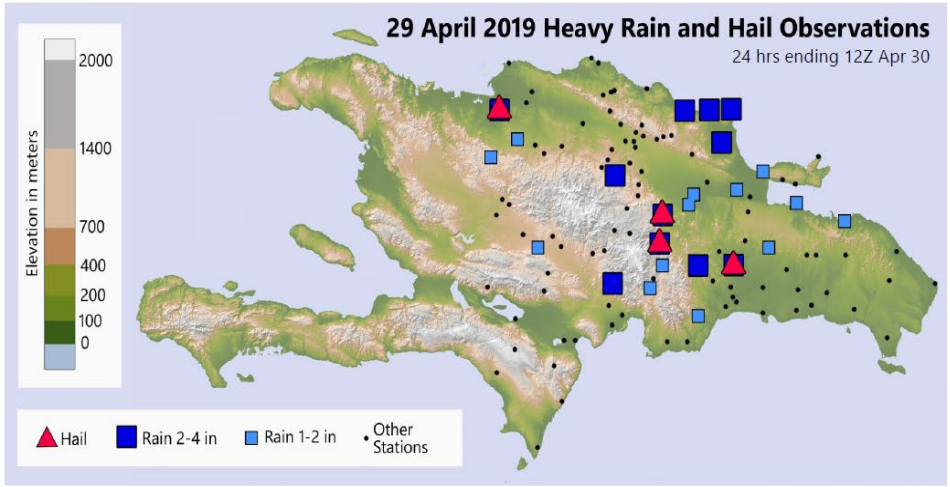
Verde, rojo y fucsia indican diferentes umbrales de estas variables:

- LI<-6°C OMGA<-2x10 $^{-2}$ Pa s $^{-1}$
- LI<-3°C OMGA<-2x10 $^{-2}$ Pa s $^{-1}$
- LI<-1°C

El riesgo de gravedad aumenta si los contornos de color rojo y fucsia con recuadros en el interior interceptan áreas sombreadas de color y temperaturas de 500 hPa < -8 °C.

GR02T detecta eventos de granizo en Hispaniola

Ejemplo: evento del 29 de abril de 2019

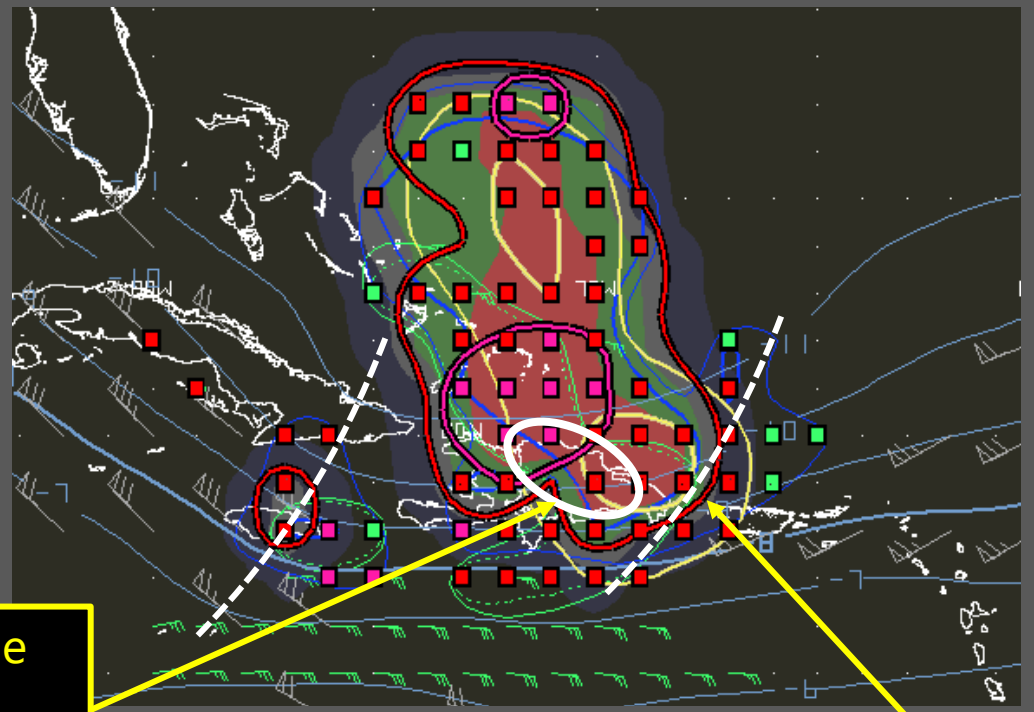


Note: Hail reported in lower elevations

HAIL
5% of stations

Heavy rain (>2in)
11% of stations

Heavy rain (1-2in)
13% of stations

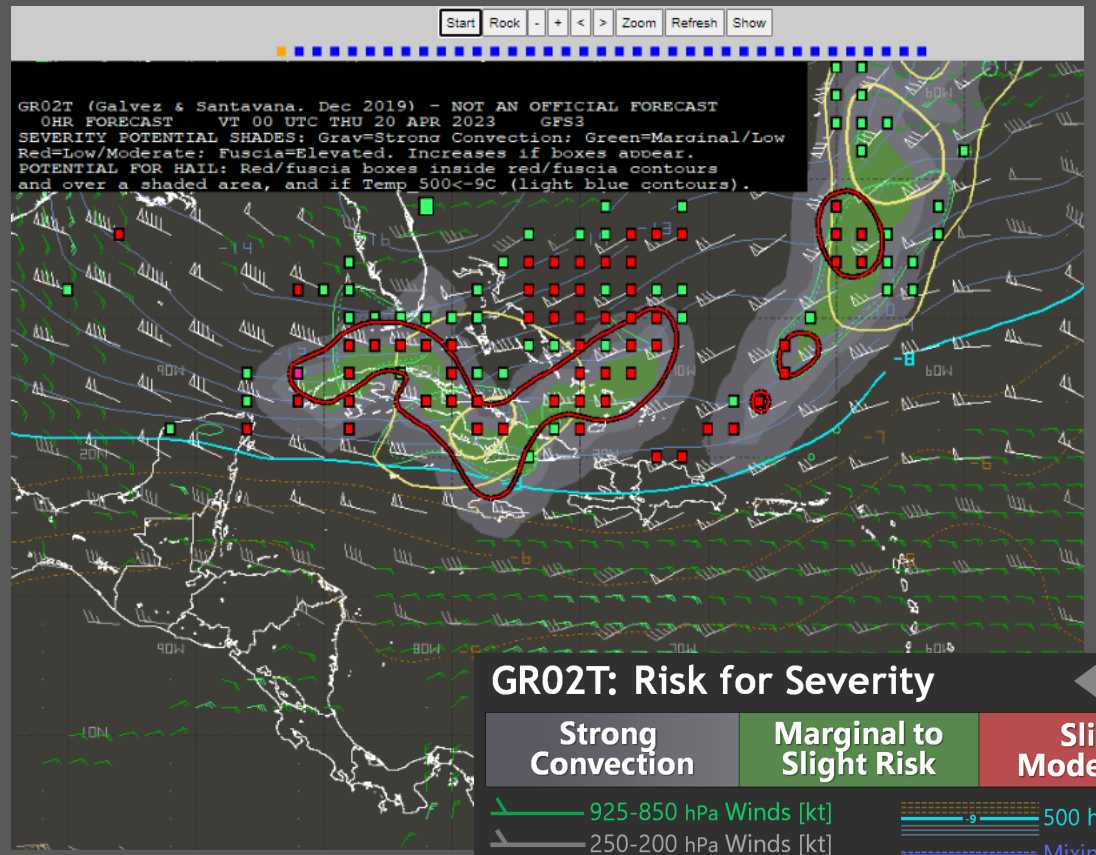


Aunque el ambiente para el granizo y el tiempo tormentoso fue grande, el granizo solo ocurrió en elevaciones más altas y estribaciones (forzamientos topográficos más fríos y más fuertes).

Ocurrió granizo donde se interceptó lo siguiente: (1) cajas dentro de los contornos, (2) área sombreada en rojo, (3) efectos orográficos, (4) perturbaciones en el nivel medio, (5) divergencia resaltada en altura.

El paso de vaguadas de onda corta a nivel medio, evidentes en el campo de temperatura de 500 hPa tuvo un rol.

Granizo en Cuba (19 de abril de 2023)



GR02T: Risk for Severity

Risk increases if boxes appear overlaid to color shaded areas

Strong Convection	Marginal to Slight Risk	Slight to Moderate Risk	Elevated Risk

925-850 hPa Winds [kt]
250-200 hPa Winds [kt]
300-200 hPa Divergence
500 hPa Temperatures [°C]
Mixing ratio$_{500}$ >2 g/kg
Enhanced mixing ratio flux convergence in the 950-700 hPa layer.

Specific Risk for Hail

- **Elevated** (boxes inside fuscia contours)
- **Slight to Moderate** (boxes inside red contours)
- **Marginal**, only if forcing is strong. Isolated occurrence.

Confidence increases if boxes inside contours occur over color shaded areas, if 500 hPa temperatures<-9°C, and if forcing is strong. Large boxes mean extreme 700-500 hPa lapse rates.

Thank You!

ICAO