ICAO

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION

A UN SPECIALIZED AGENCY



Herramientas para Interpretar la Atmosfera: Predicción y Productos Satelitales

José Manuel Gálvez

Investigador e Instructor

Axiom para WPC International Desks/NWS/NOAA

ICAO

Resumen

01 Herramientas para Predicción Numérica del Tiempo

02 Pronósticos por Ensamblajes

03 Introducción a Meteorología Satelital

04 Composiciones RGB (Rojo-Verde-Azul)

05 Detección satelital de sistemas del tiempo con énfasis en convección

06 Mapeador Geoestacionario de Relámpago (GLM): Detección de tormentas

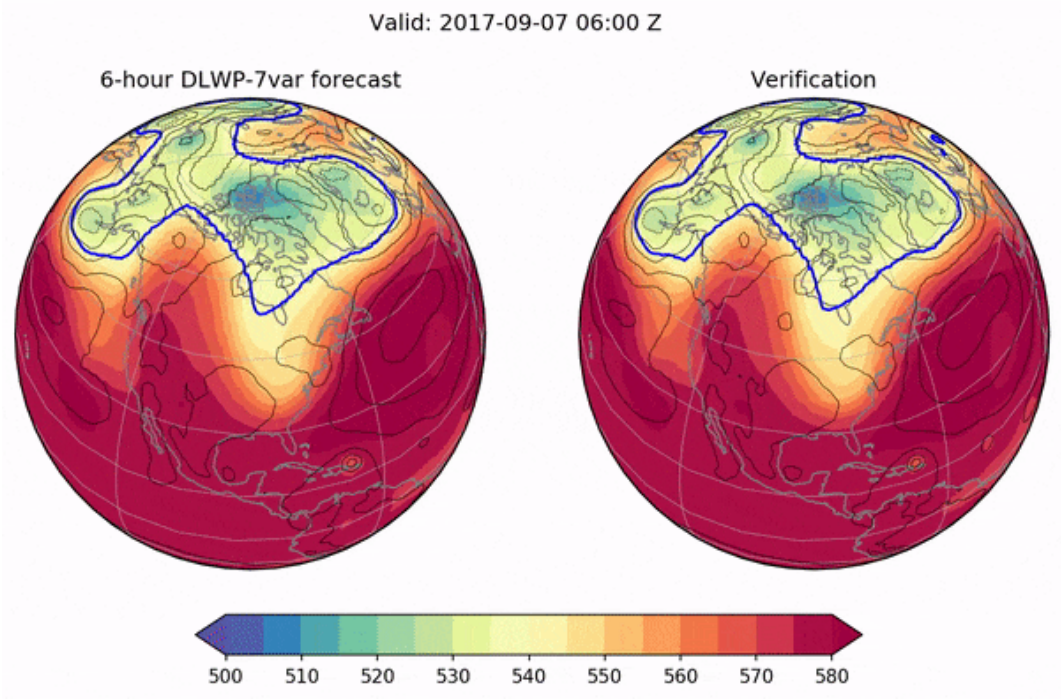
07 Detección Satelital de incendios, humo, y erupciones volcánicas

01

Predicción Numérica del Tiempo (NWP, Siglas en Ingles)

Que es la Predicción Numérica del Tiempo (NWP)?

- La predicción de la evolución de la atmosfera por medio de la las ecuaciones de movimiento de fluidos usando técnicas computacionales.
- Las ecuaciones se resuelven usando métodos numéricos, como la diferenciación finita y modelado espectral. Con la era de computadoras en los 1950s, fue posible trabajar con estas calculaciones complejas.



Como hacen sus cálculos los modelos NWP?

La mayoría de los modelos atmosféricos usan ecuaciones de diferencial parcial que son ecuaciones resueltas numéricamente. Una grilla computacional y métodos numéricos son seleccionados para resolver las ecuaciones basados en los próximos criterios:

- **Precisión,** que se puede estimar comparando la solución numérica con su contraparte analítica;
- **Estabilidad**, que suele imponer restricciones en el intervalo de tiempo;
- **Transportividad**, que requiere que cualquier perturbación se advecte flujo abajo;
- **Localidad**, tal que la solución del problema de adveccion en un punto no es significativamente influenciado por el campo lejos de ese punto;
- **Conservación**, que requiere ninguna ganancia ni perdida de masa ocurre durante el transporte;
- **Monotonicidad** (preservación de forma), a través de cual se prohíbe la aparición de nuevos extremos; estos extremos (ruidos) se caracterizan por subimpulsos y sobreimpulsos cerca de la regiones con gradientes fuertes;
- **Eficiencia**, tal que el tiempo de computadora consumido no sea muy alto

https://www.gfdl.noaa.gov/wp-content/uploads/files/user_files/pag/lecture2008/lecture15.pdf

NWP Fuentes de Errores

- Las soluciones nunca son perfectas y soluciones de modelos deterioran con tiempo debido al rápido crecimiento de fuentes de errores, comenzando con la realidad de que no podemos medir el sistema tierra-atmosfera con suficiente precisión.

- Otras fuentes de errores vienen de
  - La solución de las ecuaciones de movimiento. Aproximaciones se necesitan y pueden generar errores crecientes.
  - Parametrización de procesos que no se pueden resolver usando grillas y métodos de modelos.

Ecuaciones de Movimiento

- Un conjunto de ecuaciones hidrodinámicas que representan la aplicación de la segunda ley de moviente de Newton a un sistema fluido.

- La aceleración total sobre una partícula de fluido se iguala a la suma de las fuerzas actuando en la partícula dentro del fluido. Escrito para una unidad de masa de fluido en movimiento en un sistema de coordenadas fijo con respecto a la tierra, la ecuación vectorial de movimiento para la atmosfera es:

$$\frac{D\mathbf{u}}{\mathrm{D}t} = -2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{u} - g\mathbf{k} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \mathbf{F},$$

donde u es el vector de velocidad tridimensional, Ω la velocidad angular de la tierra, k una vector unitario dirigida hacia arriba, ρ la densidad, la presión, g aceleración de la gravedad, y F la fuerza de rozamiento por unidad de masa.

https://glossary.ametsoc.org/

Resolviendo la Ecuaciones de Movimiento

- **Diferenciación Finita** ej. Modelos regionales con limites
  - El uso de puntos de grilla
  - Calculaciones basados en las diferencias entre puntos de grilla cercanos
  - Estos son los mejores para modelos regionales (con limites)

- **Modelos Espectrales** ej. Modelos globales como el GFS
  - El uso de ondas (conversión de un espacio a otro (espacio espectral) constante)
  - Mejor para pronósticos a largo plazo
  - Mejor sin limites (ej. Modelos globales)

Diferenciación Finita (Modelos Regionales)

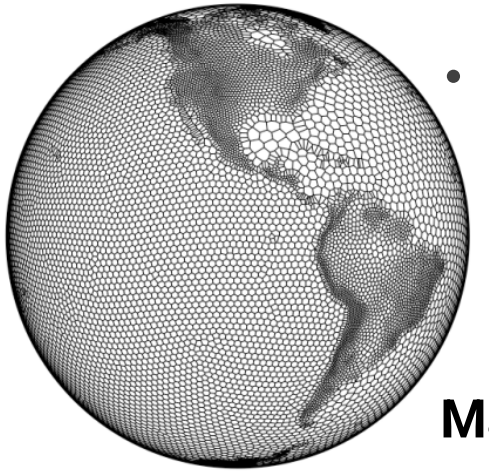
- El cambio de cantidad en punto de grilla se puede calcular utilizando las diferencias entre puntos de grillas cercanos y sus evoluciones con el tiempo.
- Estos se aplican a las ecuaciones de movimiento.
- Hay métodos diferentes de diferentes complejidad y estabilidad.

Scheme	*Algebraic Form*	*Stability*	*Accuracy*
Euler forward	$\Psi_j^{n+1} = \Psi_j^n + \frac{u\Delta t}{2\Delta x}\left(\Psi_{j-1}^n - \Psi_{j+1}^n\right)$	Unstable	$O\left(\Delta t, \Delta x^2\right)$
Upwind	$\Psi_j^{n+1} = \Psi_j^n + \frac{u\Delta t}{\Delta x}\left(\Psi_{j-1}^n - \Psi_j^n\right)$	$\frac{u\Delta t}{\Delta x} \leq 1$	$O\left(\Delta t, \Delta x\right)$
Leapfrog	$\Psi_j^{n+1} = \Psi_j^{n-1} + \frac{u\Delta t}{\Delta x}\left(\Psi_{j-1}^n - \Psi_{j+1}^n\right)$	$\frac{u\Delta t}{\Delta x} \leq 1$	$O\left(\Delta t^2, \Delta x^2\right)$
Lax-Wendroff	$\Psi_j^{n+1} = \Psi_j^n + \frac{u\Delta t}{2\Delta x}\left(\Psi_{j-1}^n - \Psi_{j+1}^n\right) +$		
	$\frac{1}{2}\left(\frac{u\Delta t}{\Delta x}\right)^2\left(\Psi_{j-1}^n - 2\Psi_j^n + \Psi_{j+1}^n\right)$	$\frac{u\Delta t}{\Delta x} \leq 1$	$O\left(\Delta t^2, \Delta x^2\right)$
Crank-Nicholson	$-\frac{u\Delta t}{2\Delta x}\Psi_{j-1}^{n+1} + 2\Psi_j^{n+1} + \frac{u\Delta t}{2\Delta x}\Psi_{j+1}^{n+1} =$		
	$\frac{u\Delta t}{2\Delta x}\left(\Psi_{j-1}^n - \Psi_{j+1}^n\right)$	Stable	$O\left(\Delta t^2, \Delta x^2\right)$
Chapeau (FEM)	$\left(\frac{1}{3} - \frac{u\Delta t}{2\Delta x}\right)\Psi_{j-1}^{n+1} + \frac{4}{3}\Psi_j^{n+1} + \left(\frac{1}{3} + \frac{u\Delta t}{2\Delta x}\right)\Psi_{j+1}^{n+1} =$		
	$\left(+\frac{1}{3} - \frac{u\Delta t}{2\Delta x}\right)\Psi_{j-1}^n + \frac{4}{3}\Psi_j^n + \left(\frac{1}{3} - \frac{u\Delta t}{2\Delta x}\right)\Psi_{j+1}^n$	Stable	$O\left(\Delta t^2, \Delta x^4\right)$

https://www.gfdl.noaa.gov/wp-content/uploads/files/user_files/pag/lecture2008/lecture15.pdf

Grillas en Modelos NWP

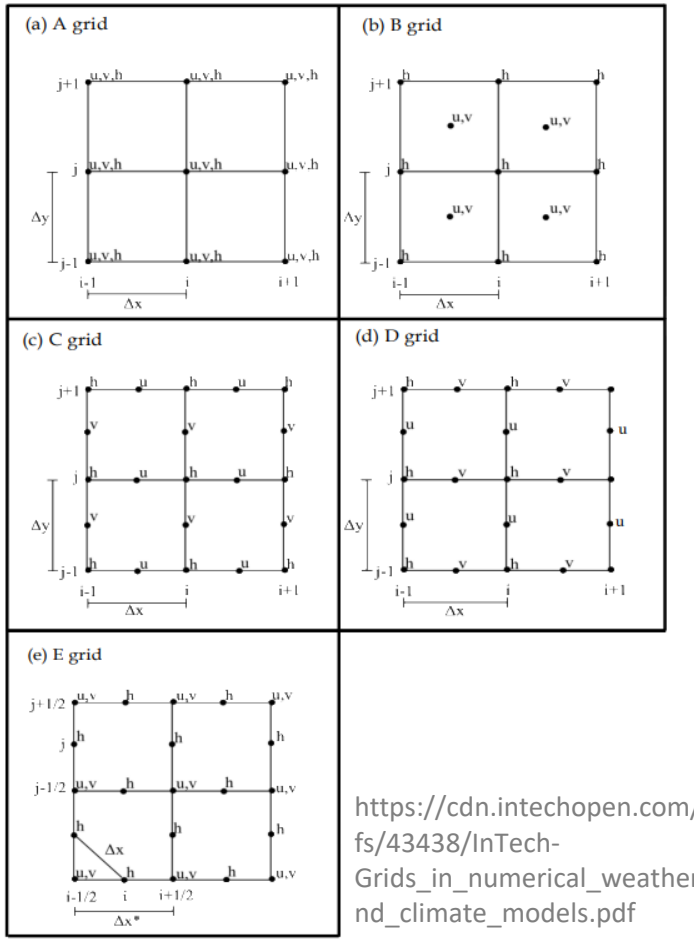
- Modelos de NWP tienen diferentes tipos de grillas.
- Grillas cuadradas son los mas sencillas (derecha), y existen diferentes tipos, en donde conjuntos de data específicos (u, v para vientos y h para otras variables) se localizan en posiciones diferentes para facilitar el calculo de valores en el futuro usando diferenciación finita.



- Hay muchos tipos de grillas mas complejos, como la “malla refinada”, que usa una resolución alta en regiones de interés.

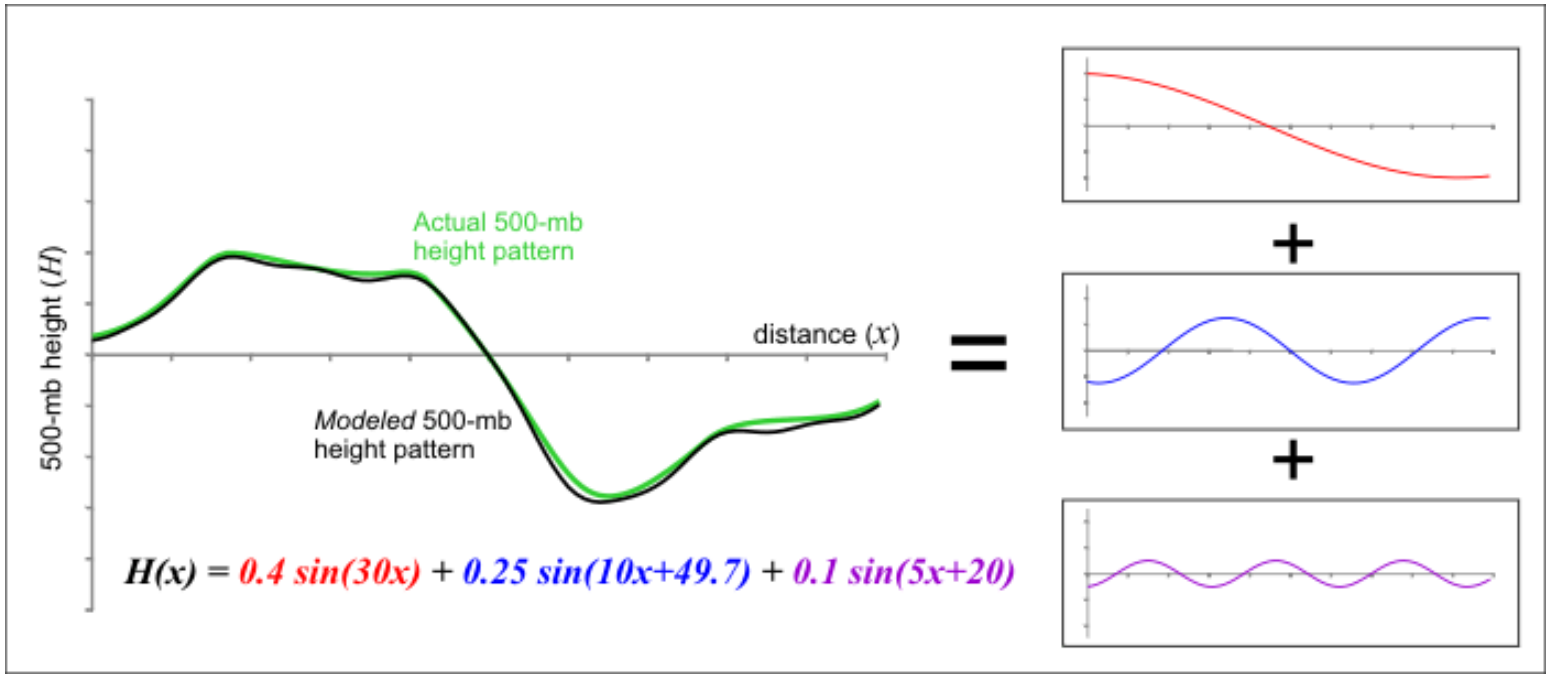
Malla Refinada

Grillas Cuadradas



https://cdn.intechopen.com/pdfs/43438/InTech-Grids_in_numerical_weather_and_climate_models.pdf

Modelos Espectrales Agregan Ondas



El modelos espectral intenta replicar los patrones ondulatorios en variables clave de la atmosfera (aquí, un ejemplo de la línea de altura ejemplo en 500 mb representada por la curva verde) sumando funciones de onda simples (curvas roja, azul, y morada). La suma que resulta (curva negra) generalmente representa muy bien el patrón observado, dependiendo del numero de ondas simples contenidas en la suma. El modelo luego usa la ecuación matemático relativamente simple que describe la suma en sus cálculos.

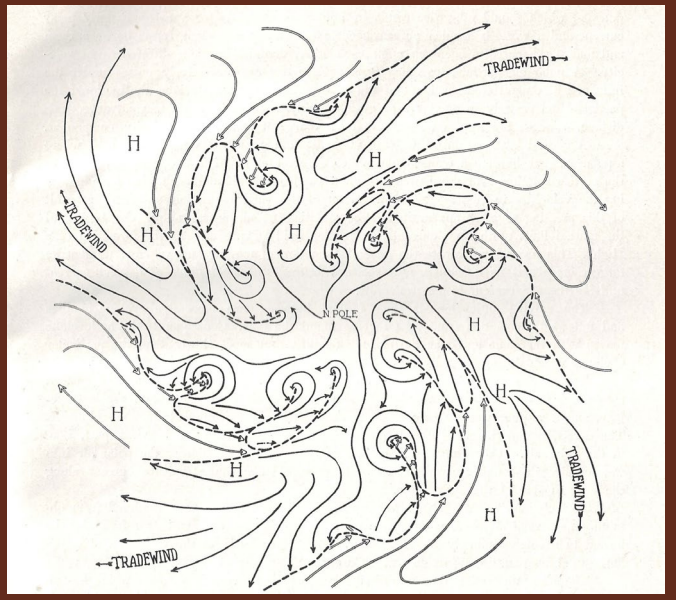
https://www.e-education.psu.edu/

Historia de la Predicción Meteorológica Numérica

Historia de NWP

- Observaciones del tiempo comenzaron el los 1700s, y and se convirtieron rutinarios en los mediados de 1800s cuando los vínculos ente el tiempo observado en estaciones remotas demostraban la migración de los sistemas del tiempo se podrían usar para pronostica.
- Le revolución del telégrafo en los mediados de 1800s rápidamente permitió la generación de mapas del tiempo, que ayudaron con el pronostico del tiempo.
- Sin embargo a fines de 1800s, nadie había relacionado el comportamiento de la atmosfera con ecuaciones o la física.



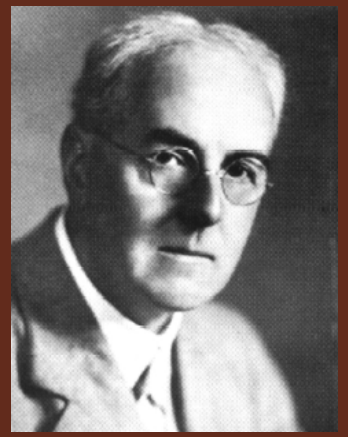


1904: Aplicación de las Leyes de Física

- El noruego Wilhem Bjerkness (1862-1951) fue el primero en aplicar las leyes de la física para describir el movimiento del fluido atmosférico.
- En 1904, el fue el primero en proponer el concepto de NWP, en donde la atmosfera se puede representar como un fluido tridimensional y su evolución se puede basar en un problema de valor inicial.
- En los 1920's, Lewis Richardson fue el primero en proponer la aplicación de ecuaciones matemáticas para pronosticar el tiempo. La idea era revolucionaria, pero requería cálculos rápidos y no había medios para hacerlo.



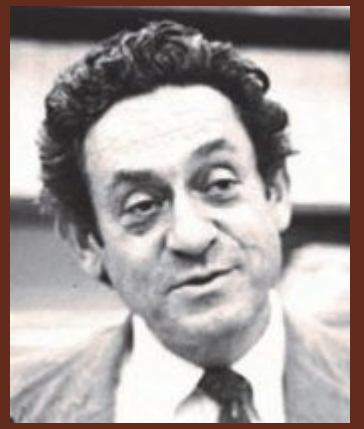
Wilhem Bjerkness



Lewis Richardson

1950: Revolución Informática

- Se pudo desarrollar el NWP rápidamente tan pronto comenzó la revolución informática.
- Jule Charney fue el líder en la revolución del NWP, comenzando el desarrollo de modelos de predicción numérica del tiempo, aplicando el trabajo Bjerkness y Richardson a los resultados concretos.
- Los modelos iniciales tenían una resolución muy baja, y el pronostico fallo rápidamente debido a los errores crecientes y las limitaciones en el muestreo del sistema tierra-atmosfera.



Jule Charney

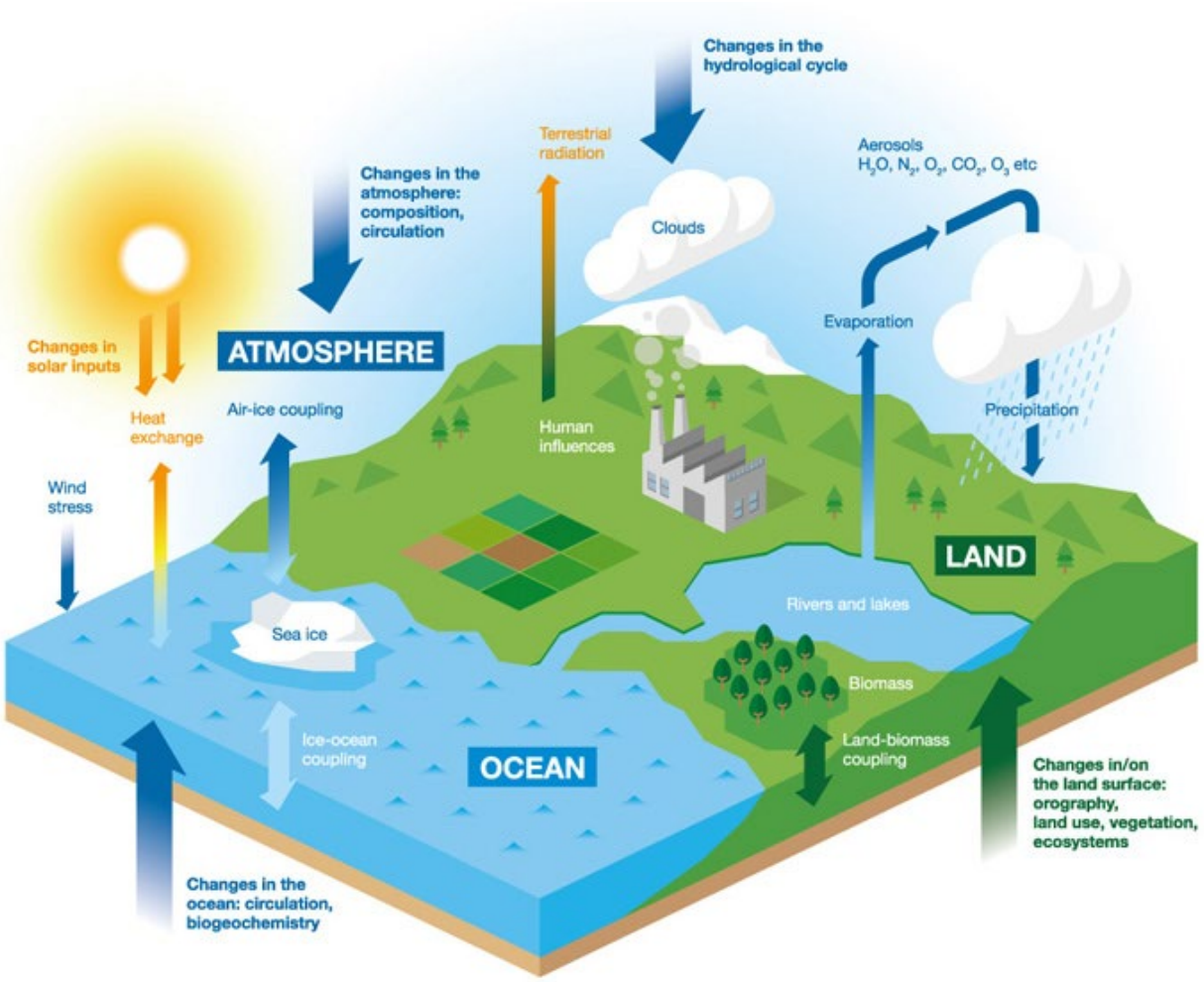
Mejoras desde los 1970s

- Los 1970’s marco la era satelital. Desde entonces, la habilidad para mejoras la representación del sistema tierra-atmosfera para inicializa modelos ha aumentado, especialmente en la década 1990s.
- Satélites de orbita polar tienen un papel importante porque pueden medir mas variables con mejor resolución vertical, gracias al sensor de microondas. Para 2022, 85% del as observaciones ingeridas en los modelos provinieron de satélites polares.
- Modelos y diseminación de data han mejorado rápidamente desde los 1990s debido a la revolución tecnológica que rápidamente aumento la capacidad computacional y diseminación del internet.

Asimilación de Datos

- Es por las observaciones que ingiere un modelo NWP, para representar el estado actual del sistema tierra-atmosfera y permite que el modelo resuelva la evolución basado en estas condiciones.

- Cuantas mas observaciones confiables, mejor será la representación de las condiciones iniciales del modelo. Pero hay otros aspectos a considerar para limitar la generación de errores una vez que los modelos resuelven las ecuaciones de movimiento.



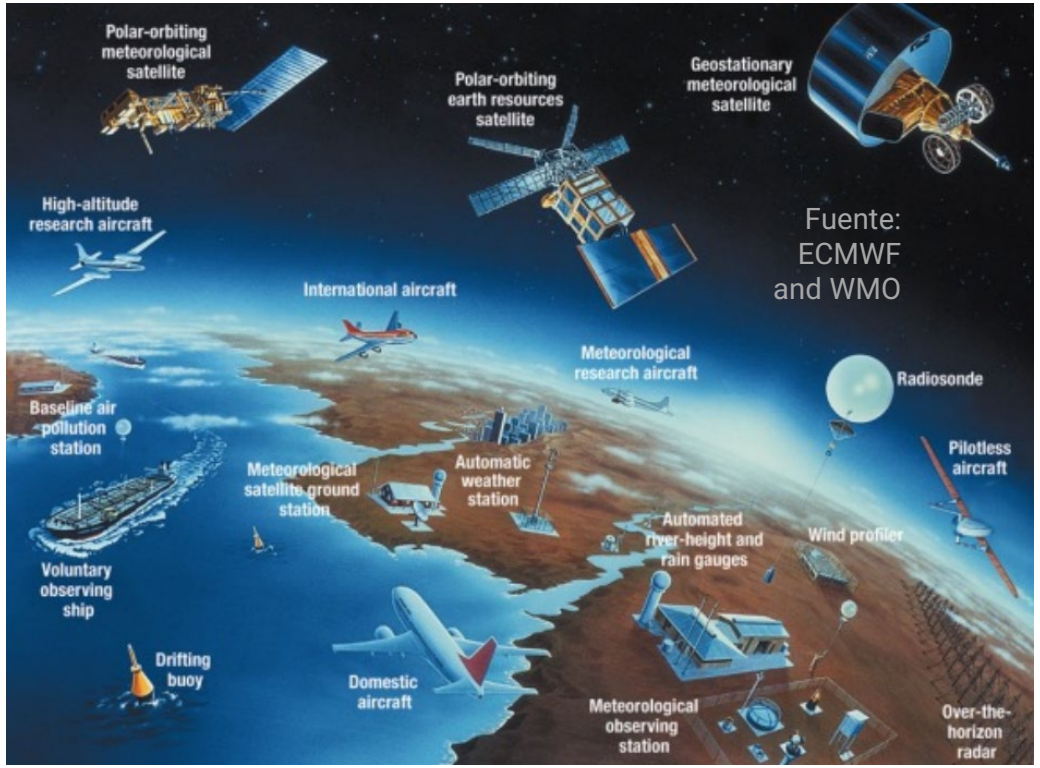
Cuales datos usan los modelos?

Medidas Satelitales

SUPERFICIALES
- Observaciones de la superficie

ATMOSFERA
- Observaciones de niveles altos (radiosondas y globos pilotos)
- Observaciones de aeronaves

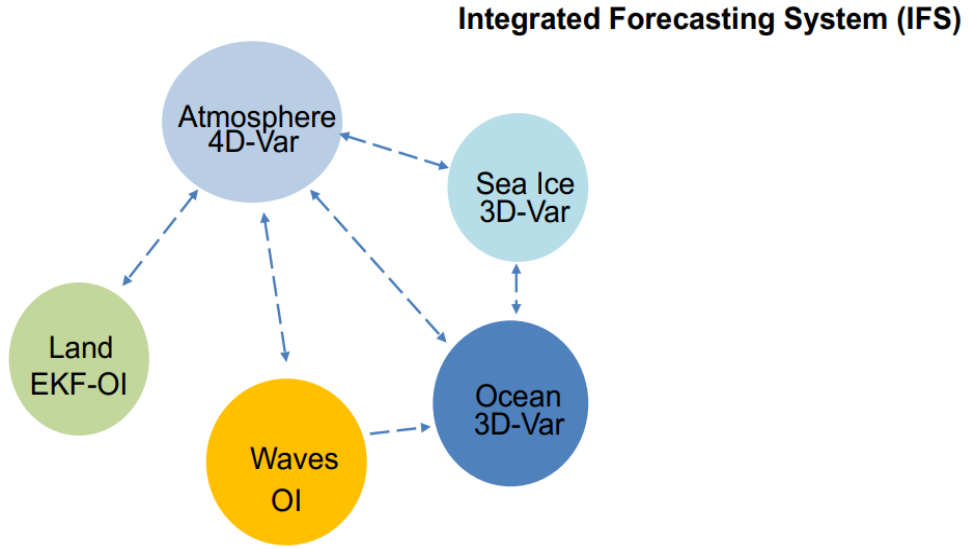
OCEANO
- Boyas
- Observaciones de Barcos



Como se asimilan los datos?

- Se usa un pronostico inicial.
- El pronostico se ajusta en base a la observaciones.
- Técnicas usadas incluyen 3D-Var, 4D-Var, Filtro de Ensamblajes Kalman (EKF, siglas en ingles) y la interpolación optima.
- El modelo ingiere el pronostico ajustado.





- Coupled assimilation developments for NWP and reanalyses
- Importance of interface observations (e.g. SST, sea ice, snow, soil moisture)

ECMWF

Los Problemas en Asimilar Demasiado o Muy Poco

- Añadiendo mucha información detallada
  - Positivo: Una representación mas realística de la atmosfera
  - Negativo: Valores grandes u gradientes muy pronunciados pueden generar errores al resolver las ecuaciones, que pueden crecer rápidamente con el tiempo.
- Rechazando muchas observaciones y etiquetándolas como “datos incorrectos”
  - Positivo: Limita el crecimiento de errores al resolver ecuaciones.
  - Negativo: Puede omitir detalles importantes que podrían mejorar el pronostico.

Modelos Regionales y Globales

- **Modelos Globales** cubren todo el globo y se resuelven usando técnicas de modelado espectral.
    - Ejemplos: GFS, ECMWF, UKMET, CMC, JMA, ICON, etc.
- **Modelos Regionales** cubren áreas mas pequeñas, y requieren el uso de condiciones de limites para su inicialización.
    - La ubicación de los limites importan. Es mejor ubicar limites en regiones con ruido limitado generado por elementos como orografía compleja, costas, etc.

Ejemplos de Modelos Globales

UKMET

- Resolución Horiz.: 10km
- Resolución Vertical: 70
- Pronósticos hasta 6 días
- Corre 4 veces al día

GFS

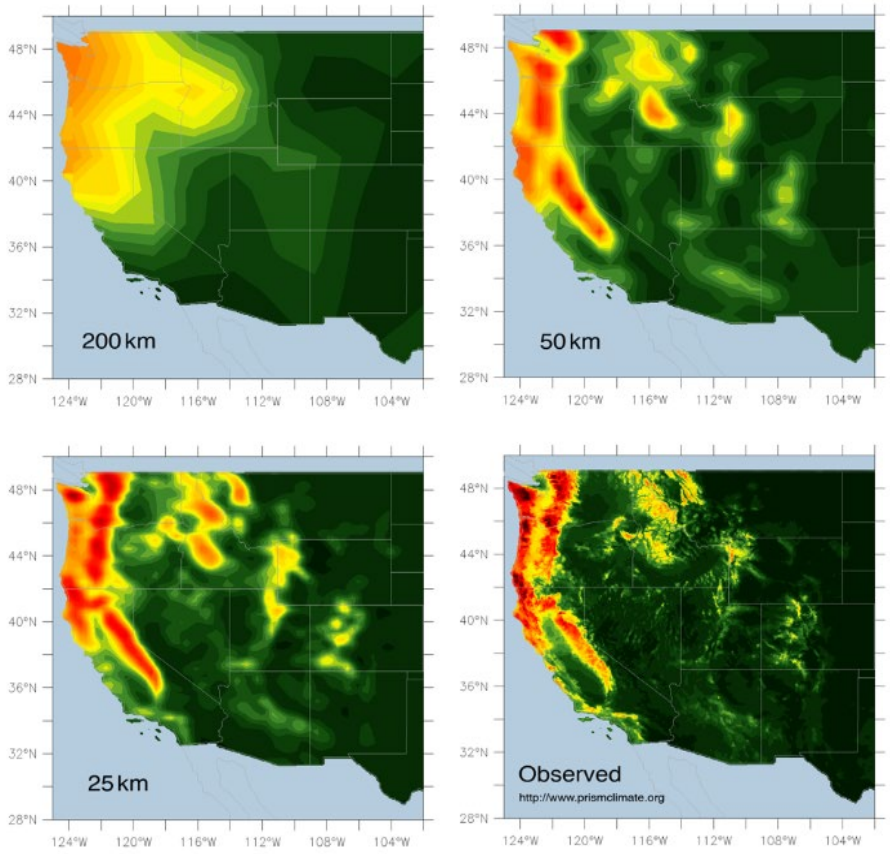
- Resolución Horiz.: 13 km
- Resolución Vertical: 127
- Pronósticos hasta 384h
- Corre 4 veces al día

ECMWF

- Resolución Horiz.: 9 km
- Resolución Vertical: 137
- Pronósticos hasta 384h
- Corre 4 veces al día

Resolución de Modelo

- **Resolución Horizontal (dx,dy):** Representa la separación entre puntos de grilla (puntos de datos) en el modelo.
- Cuando mayor sea la separación, mas pequeña/baja la resolución.
- Grillas mas finas producen resultados mas precisos, pero también pueden generar errores de calculo mas grandes, especialmente cuando gradientes pronunciados se introducen en las ecuaciones



Current model resolution (200 km) compared to high-resolution models (50 km and 25 km) and observed data

Observed data provided by PRISM Climate Group, Oregon State University.

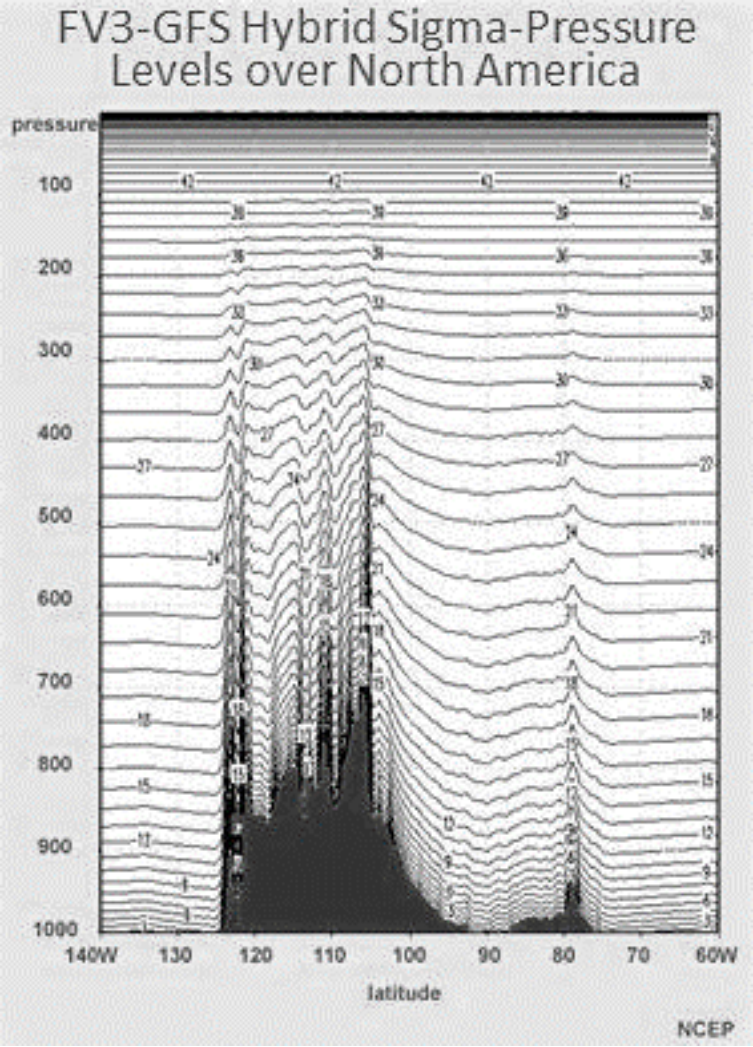
https://www.gfdl.noaa.gov/climate-modeling/

Modelo GFS V16

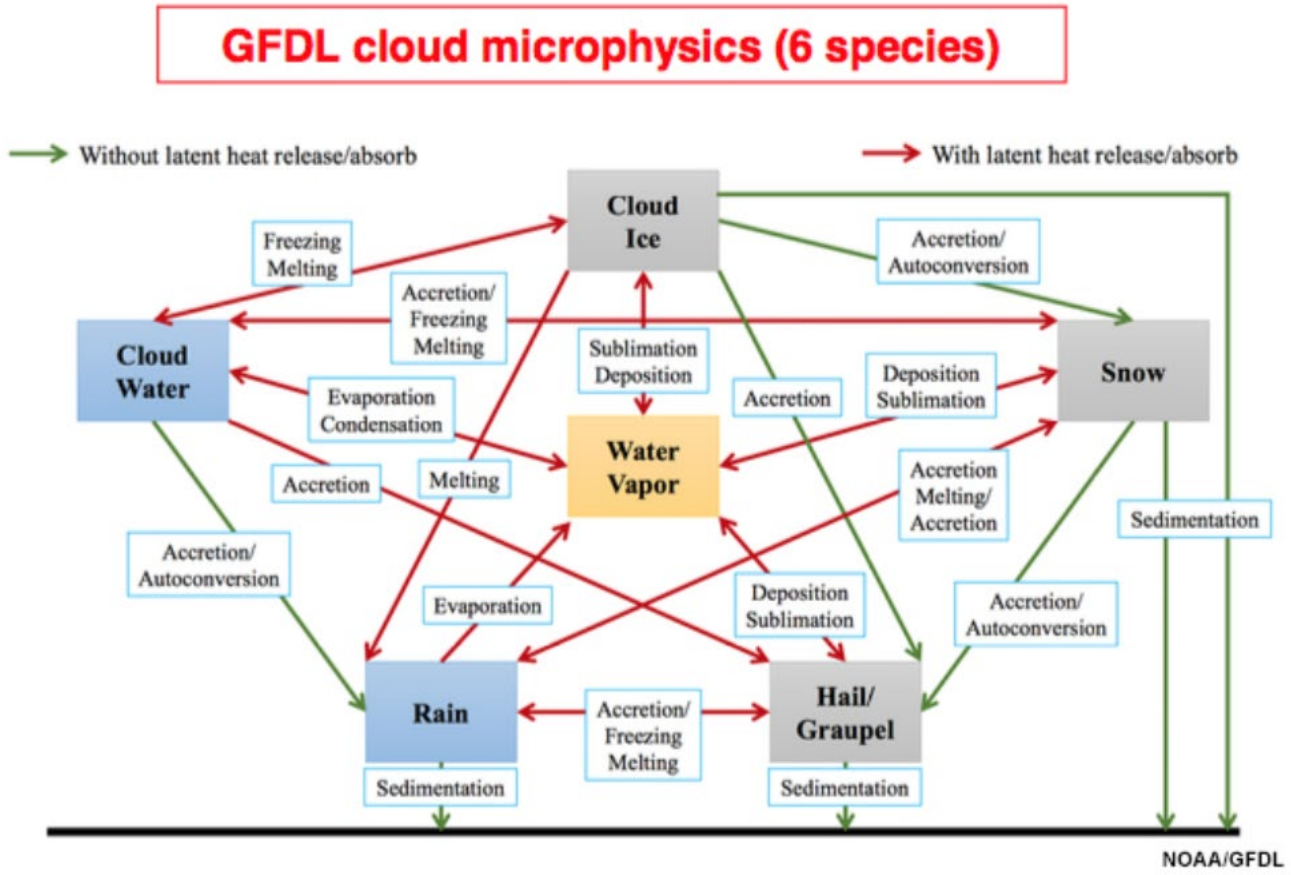
Operacional desde 22 Mar 2021

Mejoras desde GFS V15:

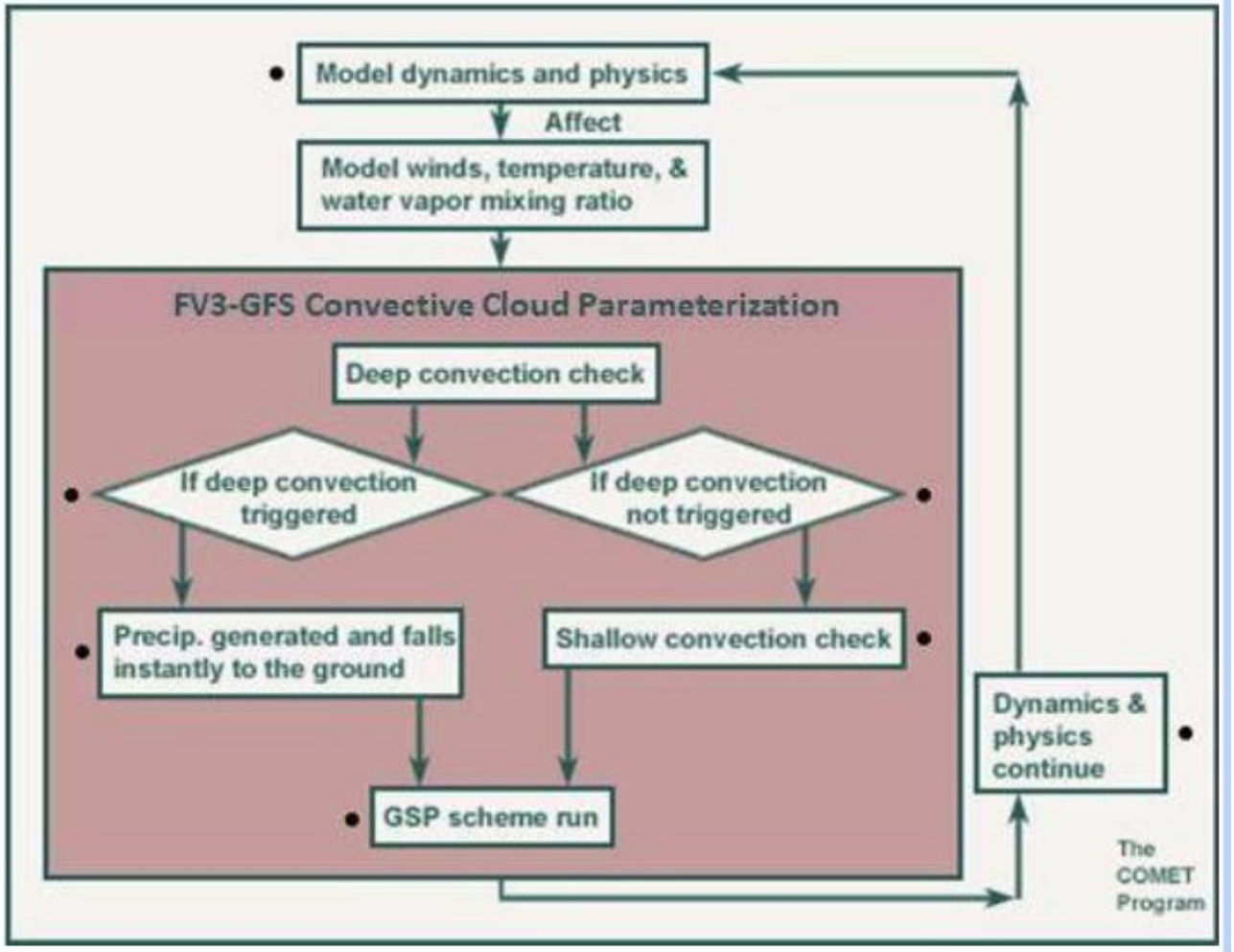
- Aumento en resolución vertical: de 64 a 127 y el tope del modelo se extiende desde la estratosfera alta hasta la mesopausa (~80 km de altura)
- Mejoras en modelos de física:
    1) Nuevo esquema para parametrizar ondas de gravedad estacionarias y no estacionarias que no son explícitamente resueltas por el modelo
    2) Nuevo esquema de mezcla de turbulencia vertical de flujo de masa de difusividad de remolino húmedo basado en energía cinética turbulenta consciente de la escala para representar mejor los procesos de la capa limite planetaria
    3) Actualización del paquete de radiación RRTMG para mejorar la absorción de radiación solar por parte de las nubes de agua y el algoritmo de superposición de nubes



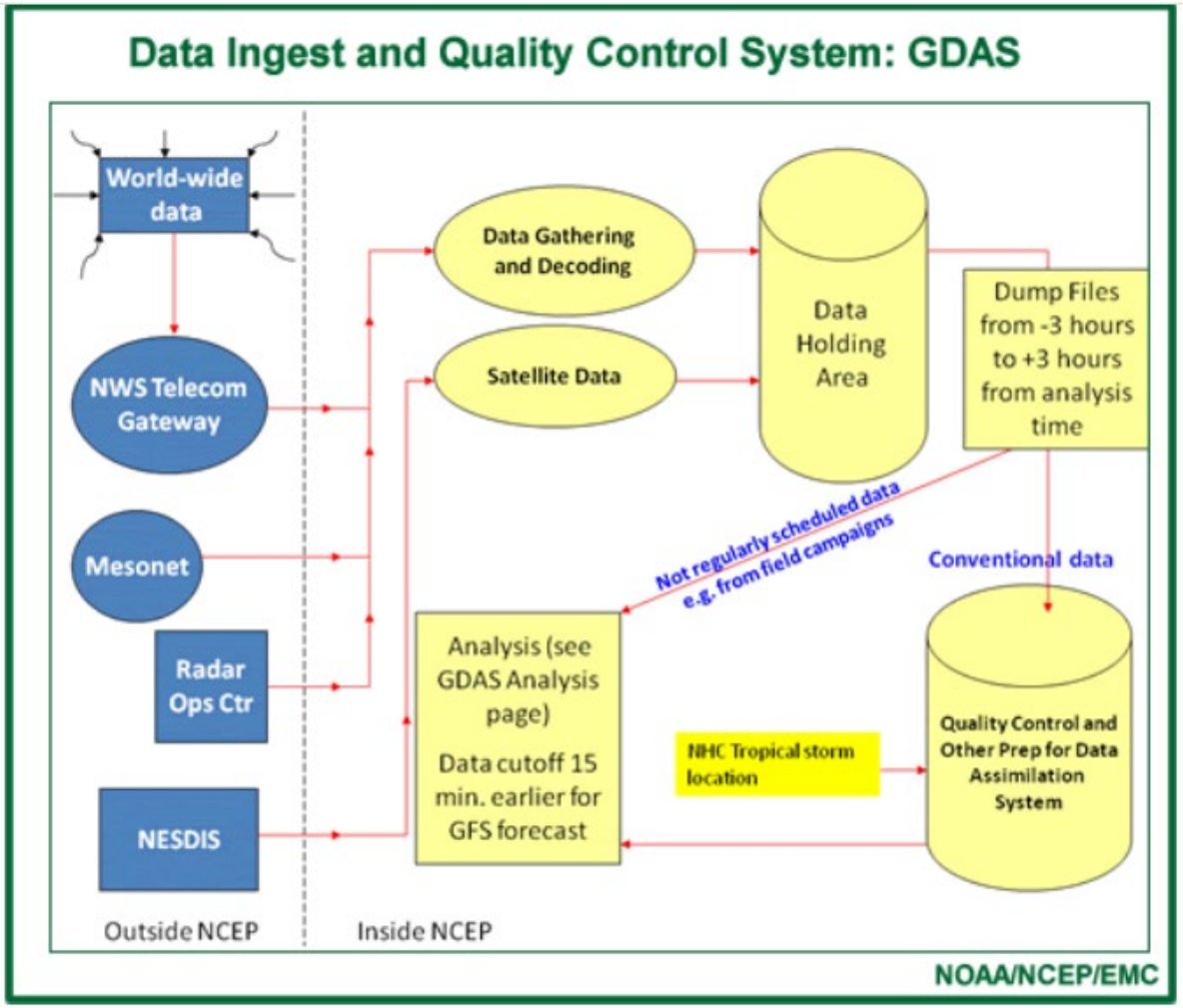
Parametrización de Microfísica



Parametrización Convectiva



Inicialización GFS



02

Pronostico por Ensamblajes

Pronostico por Ensamblajes

- Es un método en la predicción numérica del tiempo que consiste en varias corridas de modelos para generar un conjunto de pronósticos y avaluar el rango de diferentes soluciones potenciales.

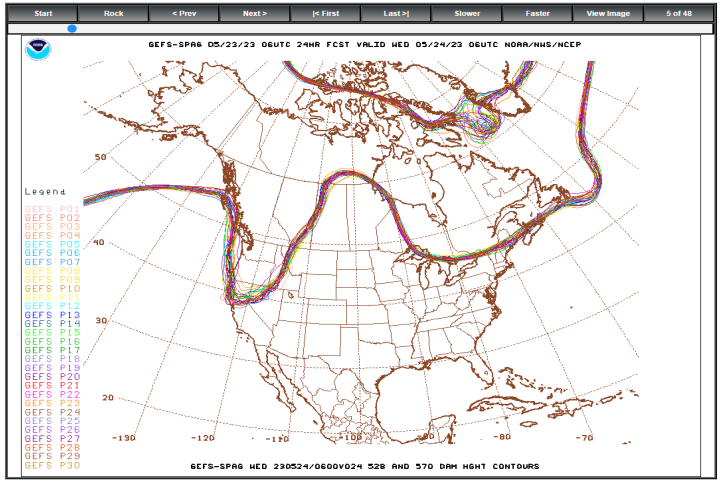
- Se utilizan múltiples simulaciones para abordar dos fuentes de incertidumbres en el pronostico. Errores introducidas por:
  1) Condiciones iniciales imperfectas
  2) Imperfecciones en la solución de las ecuaciones de modelos

- Debido las limitaciones en la capacidad computacional, ensamblajes suelen corren en resoluciones mas bajas en comparación a las corridas del modelo “determinista.”

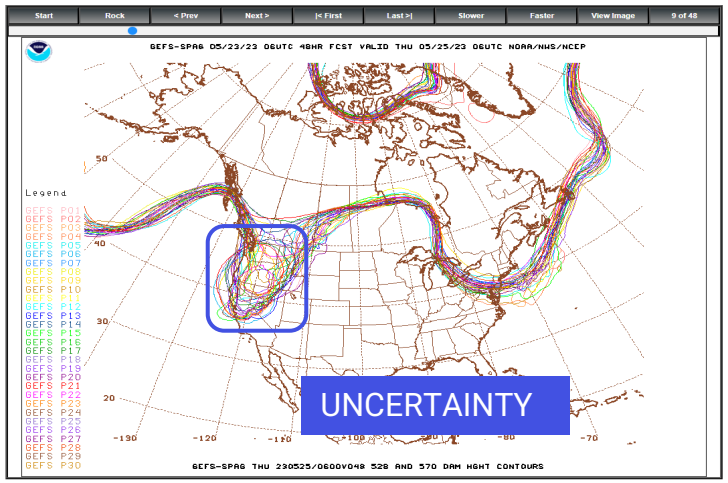
Ejemplos de Pronostico por Ensamblajes

- Ejemplo de la solución de la altura geopotencial 5700m resuelta por 30 miembros del Ensamblaje de Modelos GFS (GEFS, siglas en ingles).
- Note como el pronostico se degrada con el tiempo en unos lugares (azul). Esto indica que la confianza en la solución de los modelos en estos lugares es mas baja que en los lugares donde los contornos coinciden mejor en la hora 72.

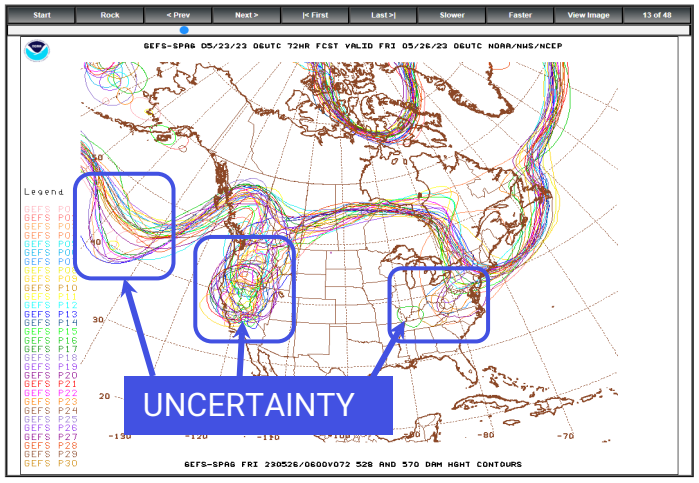
F24



F48



F72

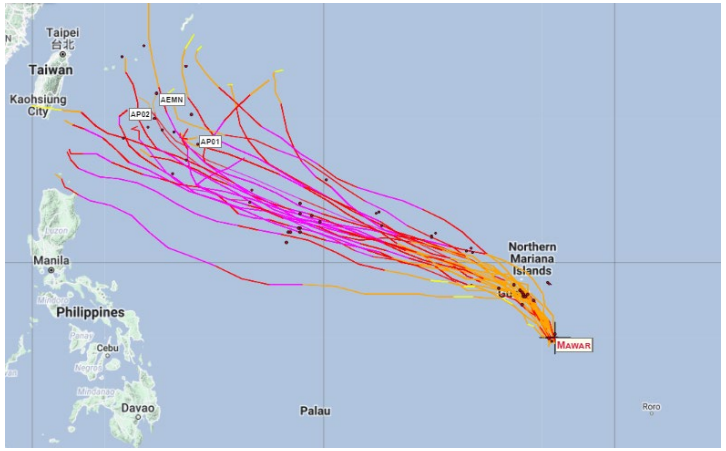


Ensamblaje de Modelo Único

- Varios sistemas de Modelado Global de modelado ejecutan ensamblajes. Ej..: GFS, ECMWF,

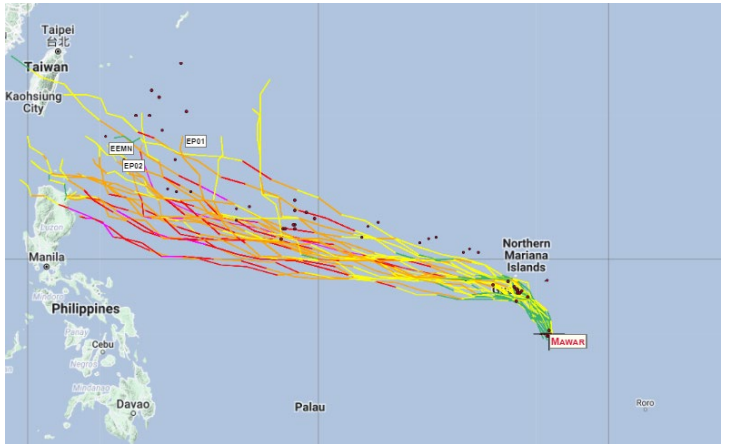
Global Ensemble Forecast System (GEFS)

- Operacional desde 1992
- Resolución: ~25km
- Miembros en Ensamblaje : 31
- Pronostica hasta 16 días



ECMWF Forecast System Emsembles (ECENS)

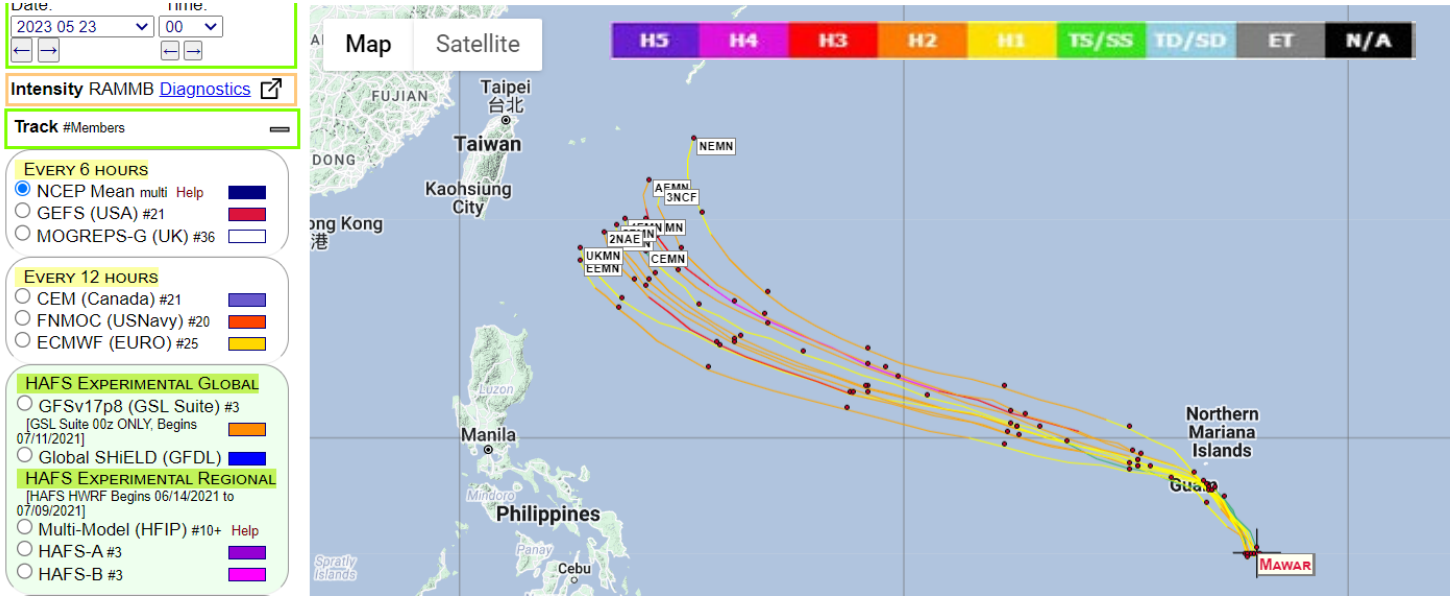
- Resolución: ~36km
- Miembros en Ensamblaje: 51



Ensamblajes de Multi-Modelos

- Consiste de soluciones consideradas de varios modelos.
- Suele a ser mas preciso que los ensamblajes de un solo modelo, ya que captura los impactos de diferentes físicas e incluso de métodos de inicialización que influyen en los sesgos de los modelos.
- “Superemsamblaje”: Cuando los sesgos de los modelos son considerados

Ejemplo de un ensamblaje multi-modelo para el Ciclón Tropical Mawar.



La Importancia de Considerar a Varios Modelos

Modelos contienen sus propios sesgos: De diferencias en inicialización de datos, de métodos para resolver las ecuaciones de movimiento y de la parametrización de procesos de escalas pequeñas.

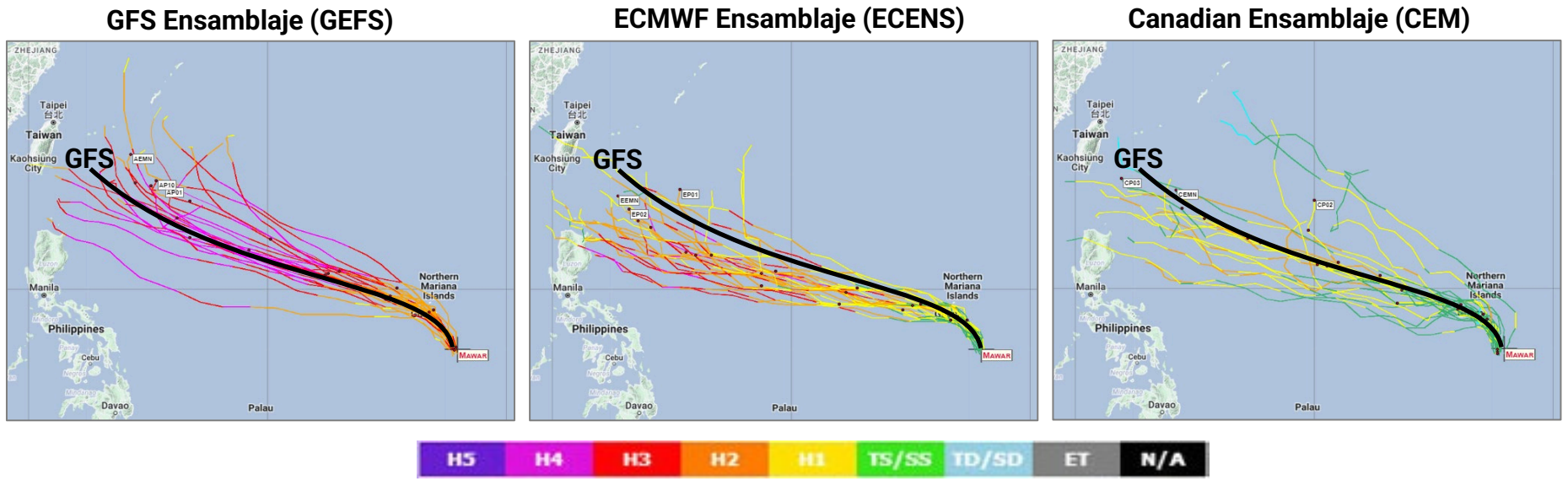
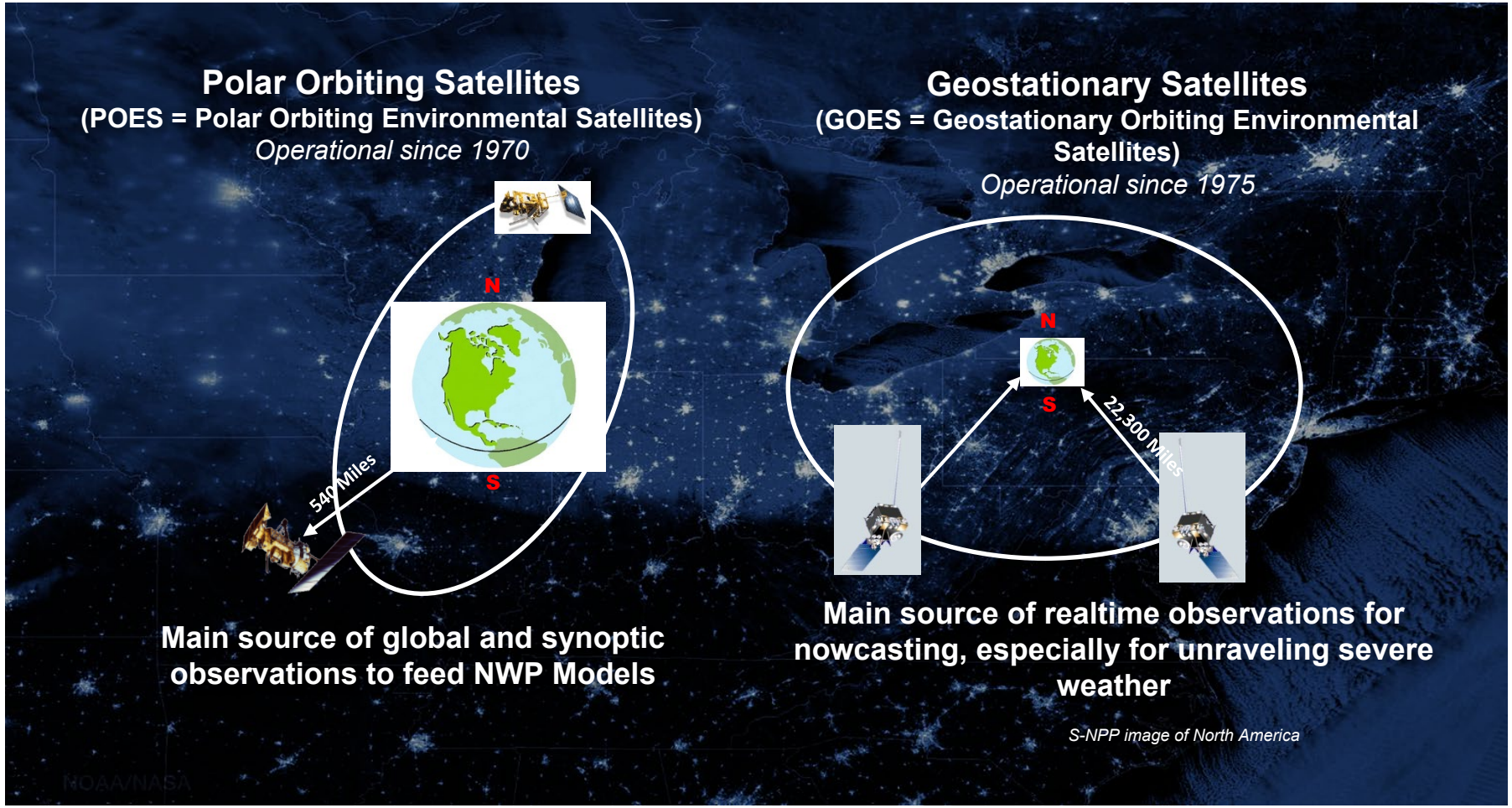


Figura: Los miembros de los ensamblajes del GFS, ECMWF y CMC pronosticando la trayectoria e intensidad para el ciclón tropical (Pacifico oeste, Mayo 2023). Aunque hay dispersión, los miembros del GFS son consistentemente mas fuertes que los otros modelos (Cat 4). El ECMWF se inclina mas al sur y mas débil (Cat 1-Cat 3). El CMC se inclina a la trayectoria del GFS pero es mas débil también. Parece que la inicialización de la intensidad era muy diferente en el GFS a comparación con los otros modelos.

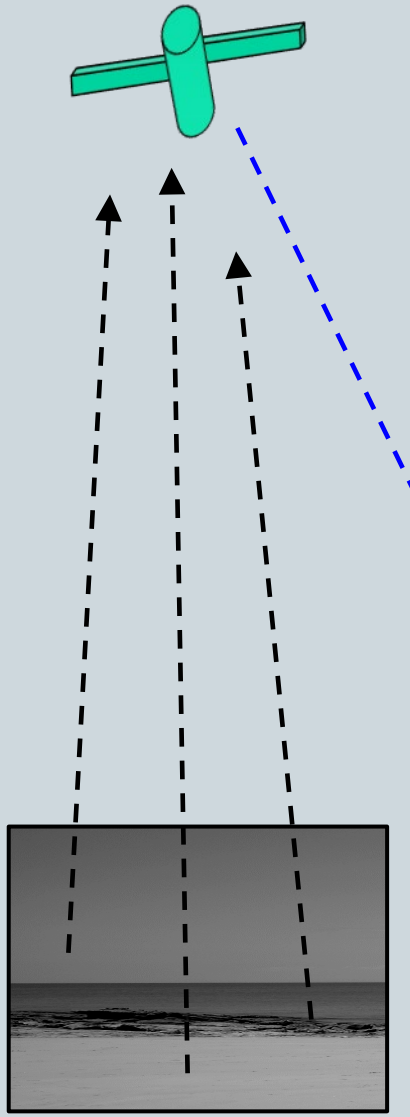
03

Introducción a Meteorología Satelital

Satélites Polares y Geoestacionarios Operacionales de la NOAA para el Tiempo – JPSS y Series GOES-R



Radiación Medida Para Demostrar Información y Entradas del Modelo

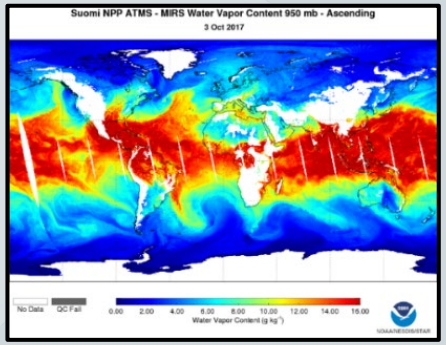




Radiación

Inicialización

Algortimo **M**icrowave **I**ntegrated **R**etrieval **S**ystem (MIRS)



Contenido de Vapor de Agua interpolada a niveles de presión

Entrada a Modelos de Pronostico

Espectros de Emisión Solar vs Terrestres

Diagrama ideal (suposición de cuerpo negro) para la radiación emitida por el sol y tierra, basado en sus temperaturas:

- Radiación Solar: pico alrededor de los 0,5 µm
- Radiación terrestre: pico alrededor de los 10 µm

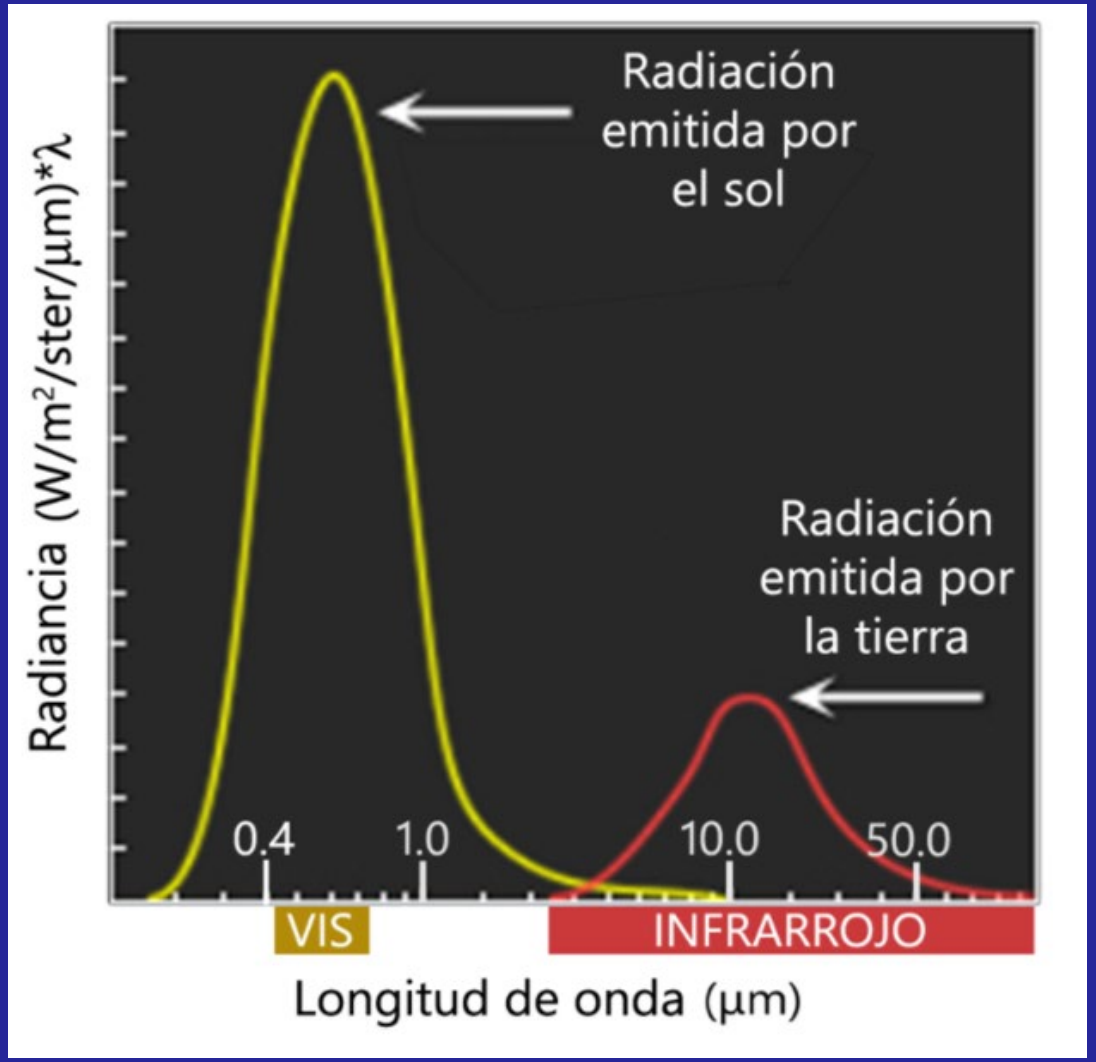


Diagram from COMET Forecaster's Multimedia Library: Satellite Meteorology: Remote sensing Using the New Goes Image

M.E.Pestaina-Jeffers
CIMH, Barbados

Midiendo Limitaciones

El diseño de los sensores satelitales y la resolución depende de varios factores:

- Detalle horizontal (generadores de imágenes)
- Detalle Vertical (sounders)
- Distancia entre Tierra-satélite
  - (36.000 km vs. 850 km)
- El poder de los lentes y la resolución
- Tamaño de los sensores y satélite

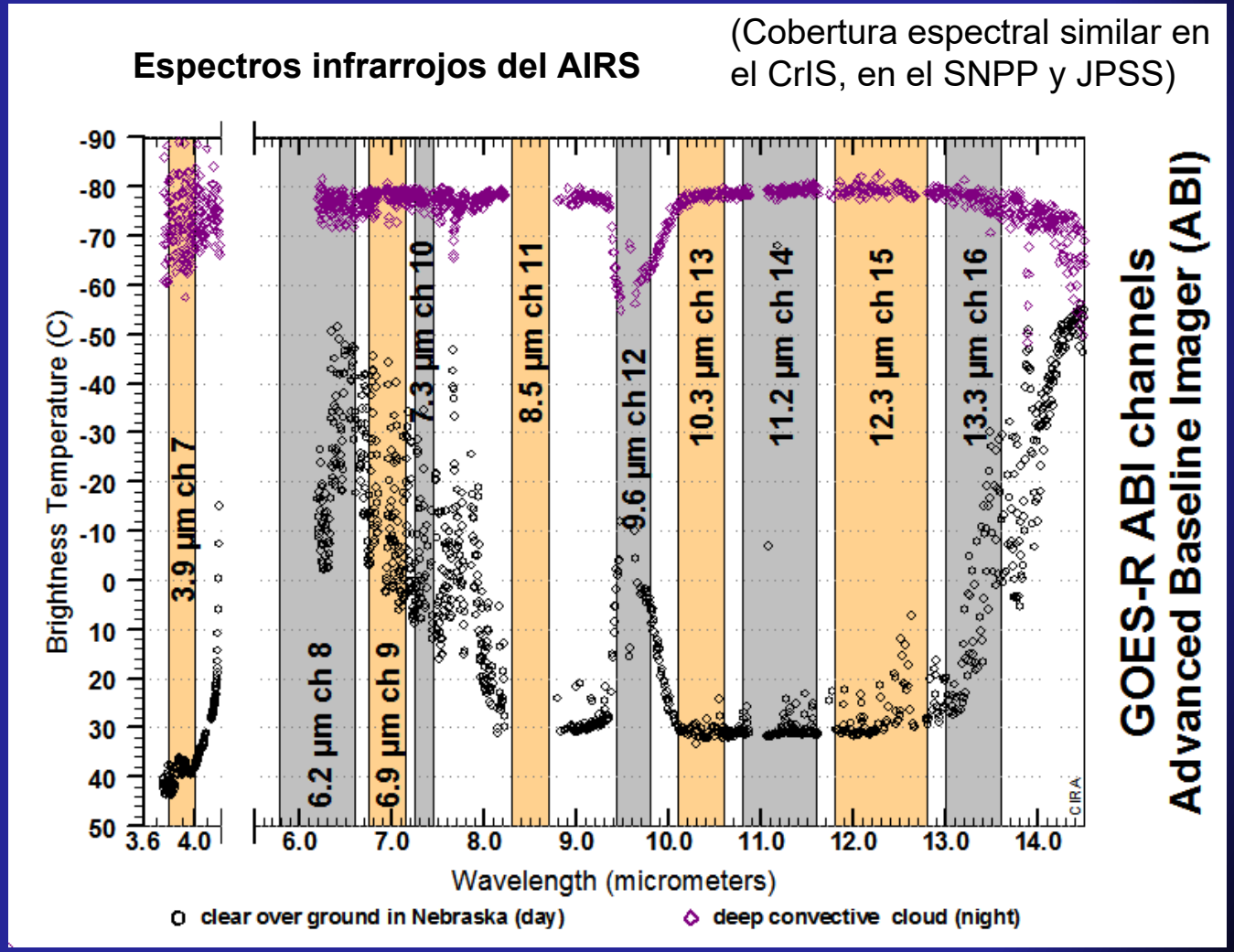


$$,$$$,$$$,$$$'s

Tipos de Resoluciones Espectrales

- **Resolución Alta**– numero muy grande de bandas finas, cada una midiendo longitudes de ondas especificas.

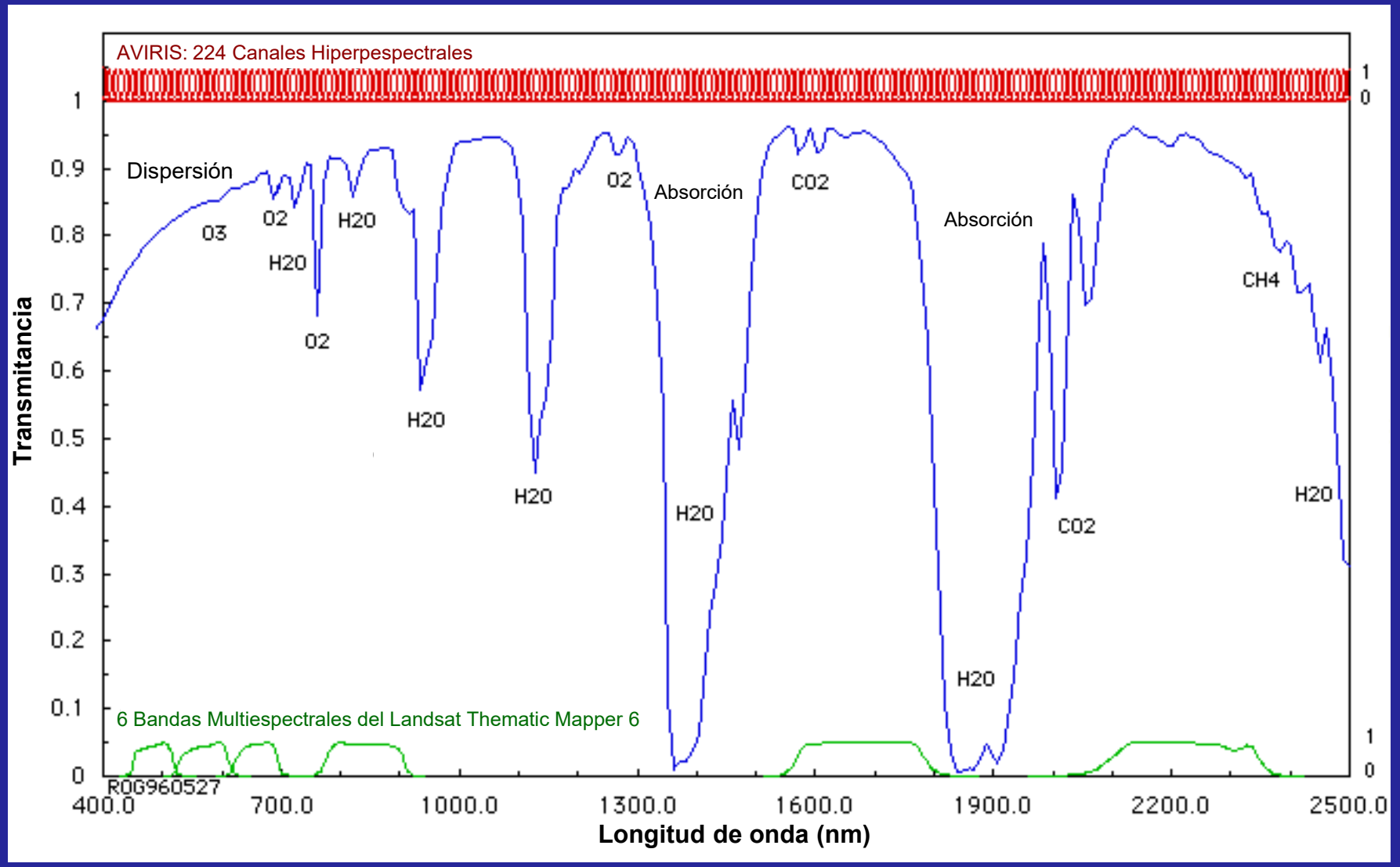
- **Multi-espectral** – numero mas pequeño de bandas anchas, promediando sobre un rango de longitudes de ondas.



Espectros Visible y Casi IR

0.4-2.5 µm

Espectros Visible y Casi IR



Aspectos que nos ayudan a interpretar imagines satelitales

- Reflectancia (Vis/Casi IR) y temperatura de brillo (IR)
- Textura
- Contexto
- Imagen única vs. animación
- Canal único vs combinación de canales (composición RGB)

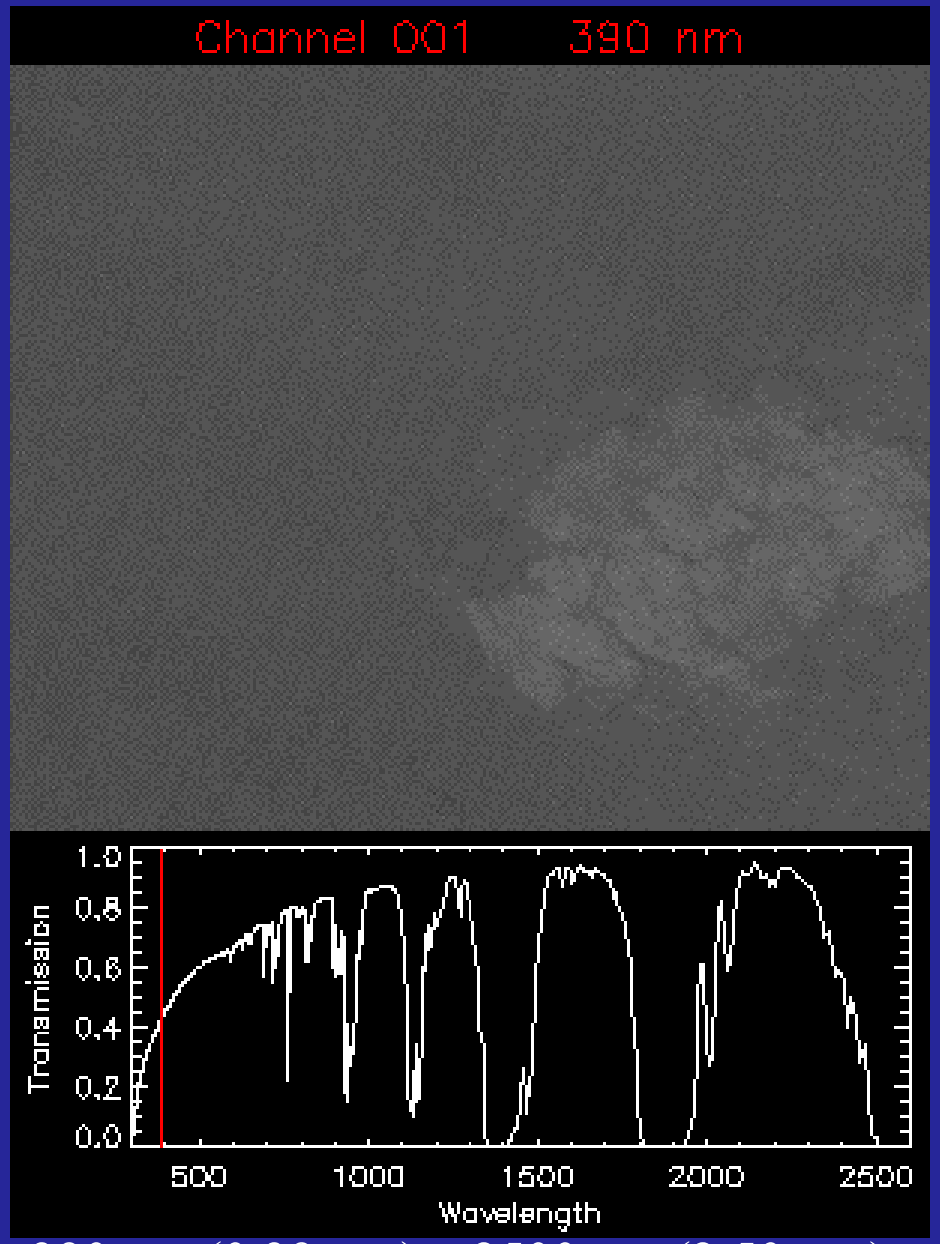
Color verdadero RGB medido desde un avión con el sensor AVIRIS (multi-espectral), demostrando las áreas de incendios y puntos de calor



Imagen AVIRIS

Linden CA

20-Ago-1992
224 Bandas espectrales
0,4 – 2,5 mm
Pixel: 20m x 20m
Escena:
10km x 10km



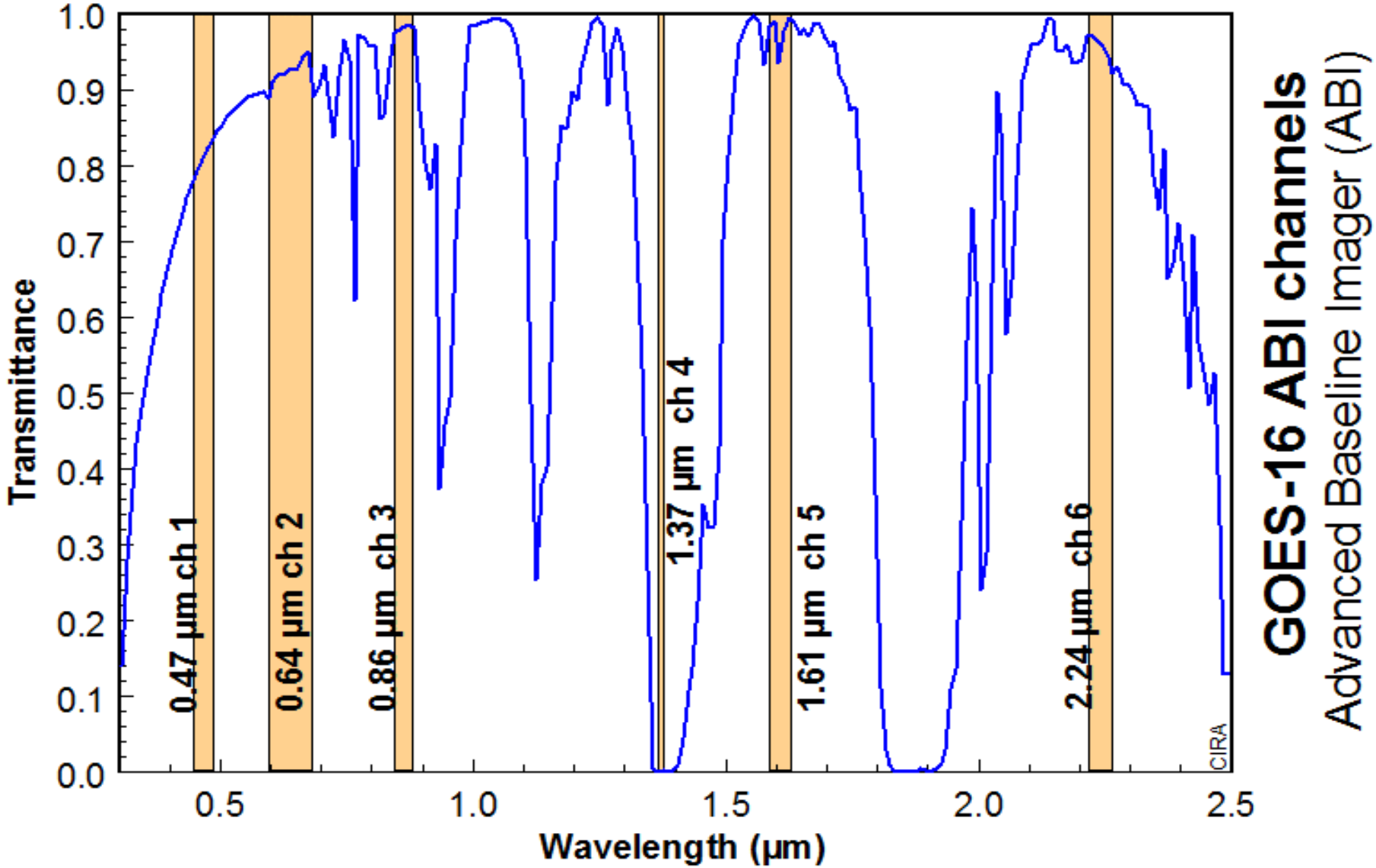
390 nm (0,39 µm) – 2500 nm (2,50 µm)

Esta animación ensena la resolución espectral alta del AVIRIS, y demuestra lo que podemos ver en diferentes longitudes de ondas.

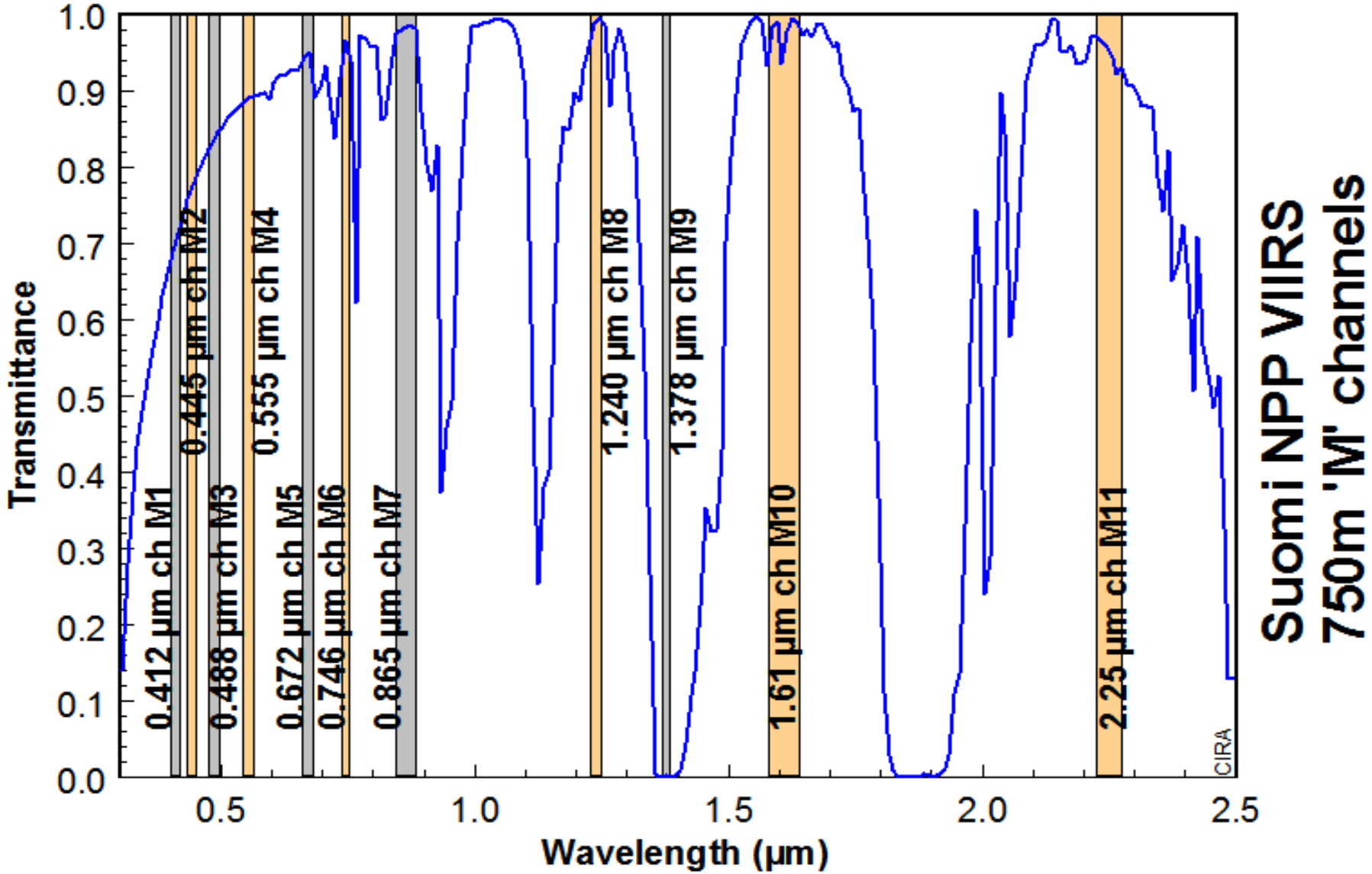
Imagen AVIRIS - Linden CA
20-ago-1992
224 Bandas espectrales: 0,4 – 2,5 um
Pixel: 20mx20m
Escena: 10kmx10km

Animación:
Dr. Mike Griffin
MIT Lincoln Laboratory

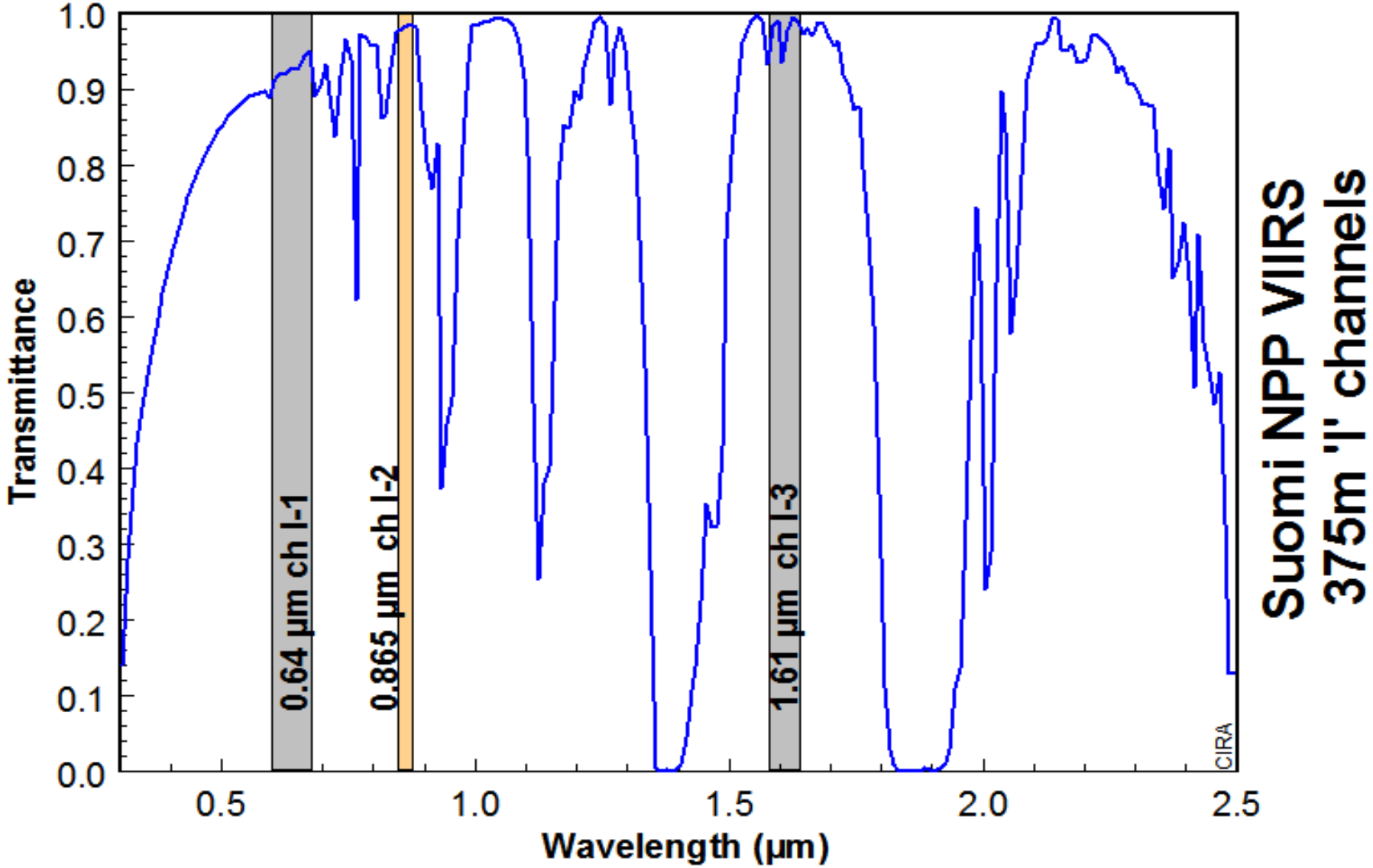
Visible to Near Infrared



Visible to Near Infrared

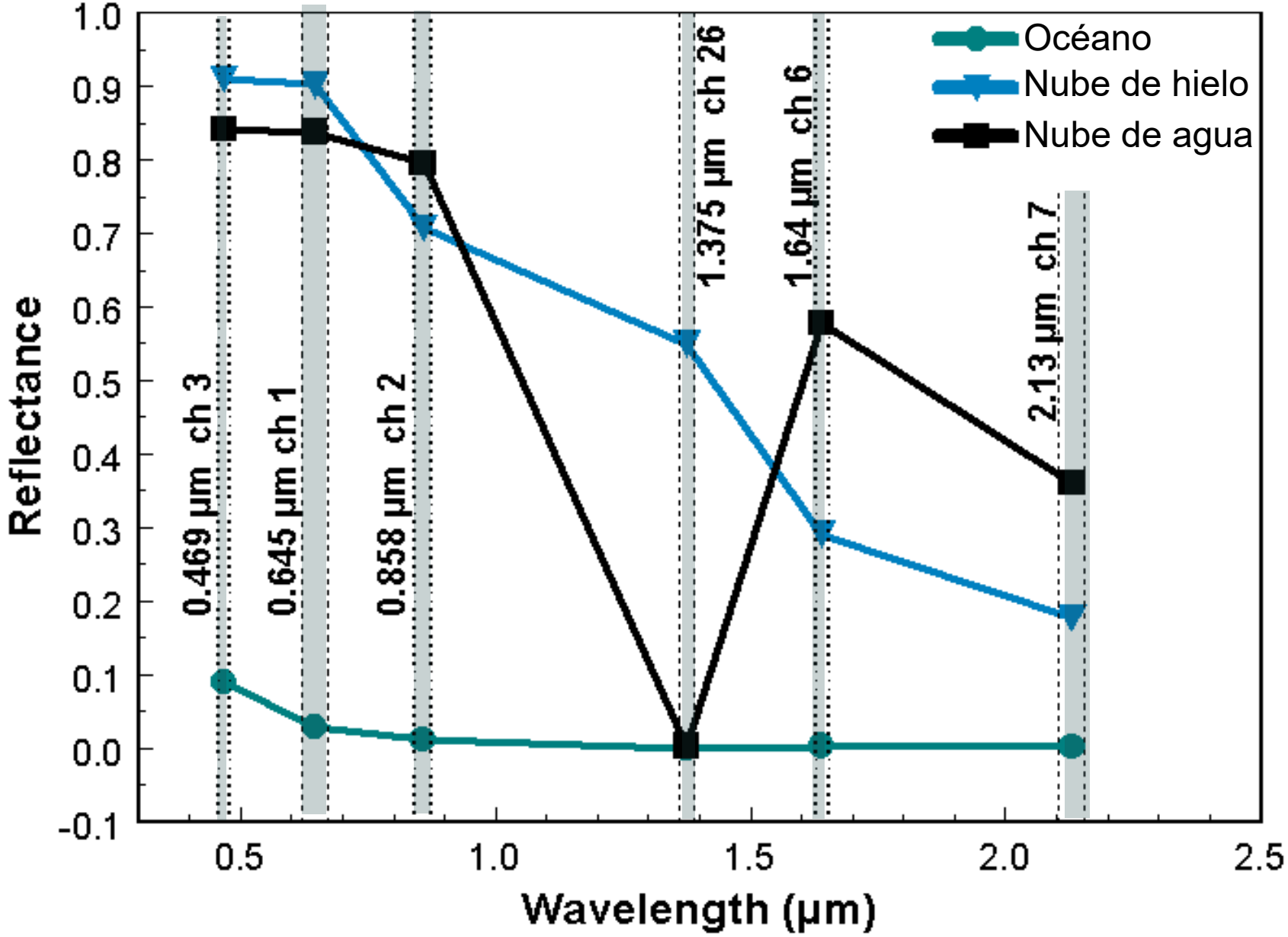


Visible to Near Infrared



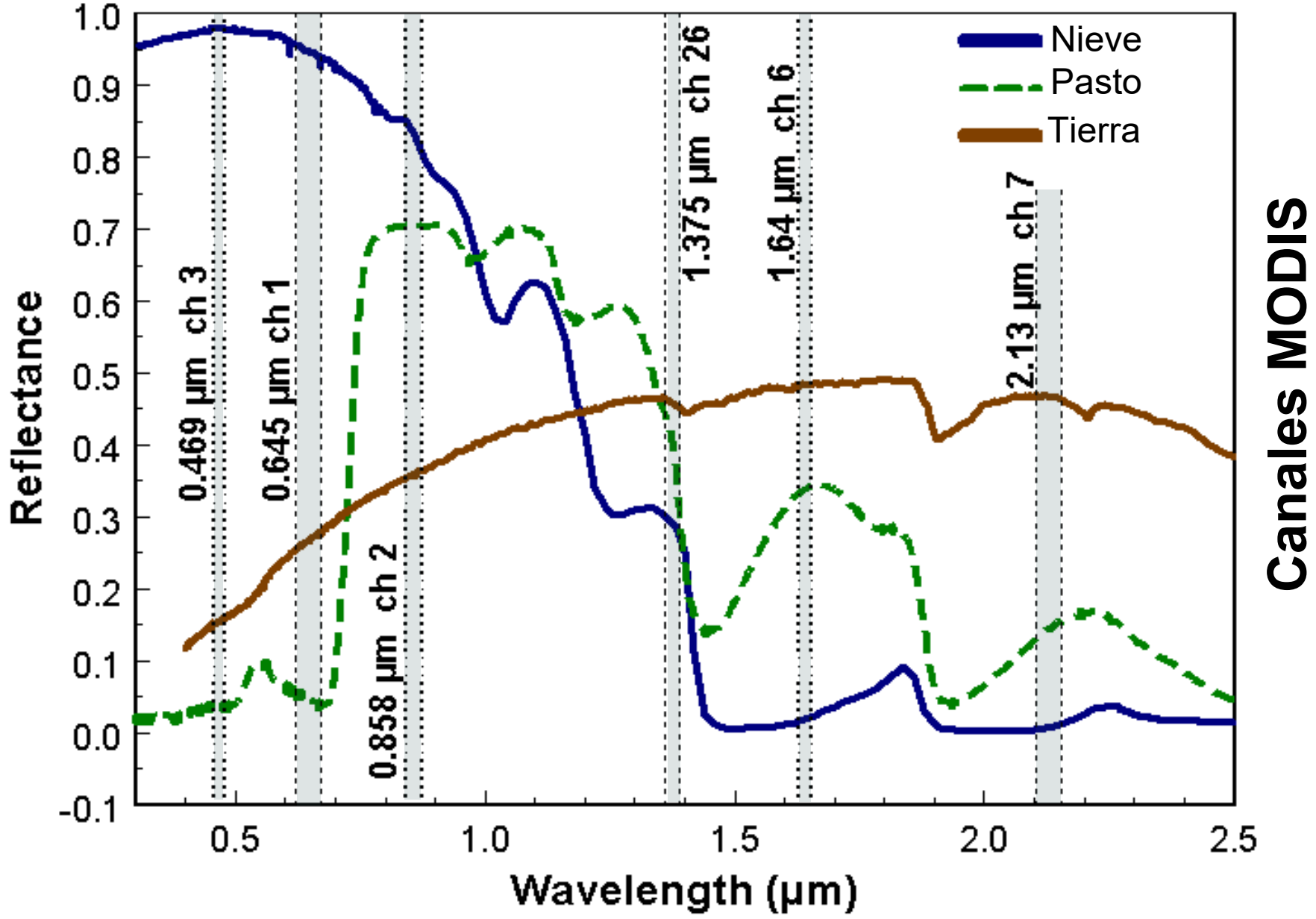
Reflectancia de Diferentes Superficies en Espectros Visible y Casi IR

Visible to Near Infrared



Canales MODIS

Visible to Near Infrared

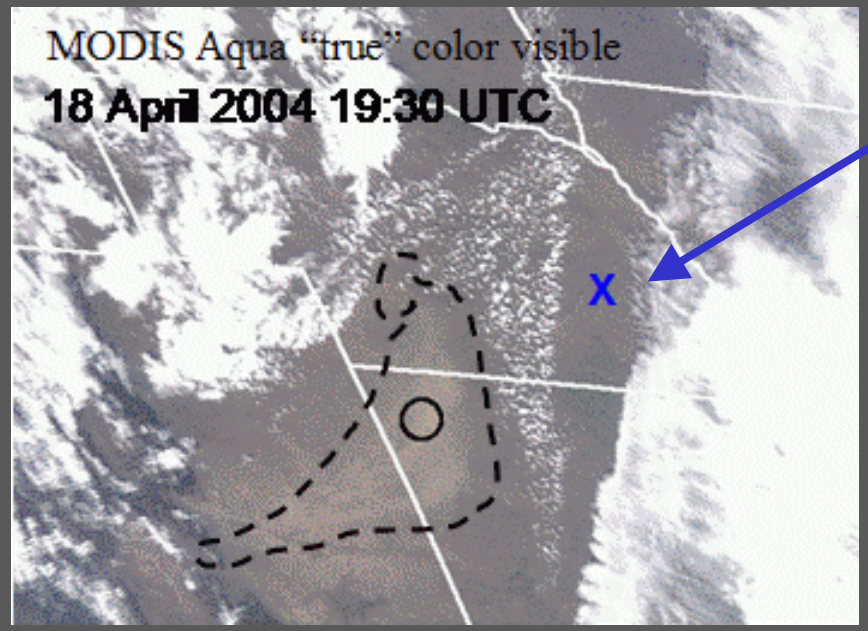


Canales MODIS

Espectro Infrarrojo (IR)

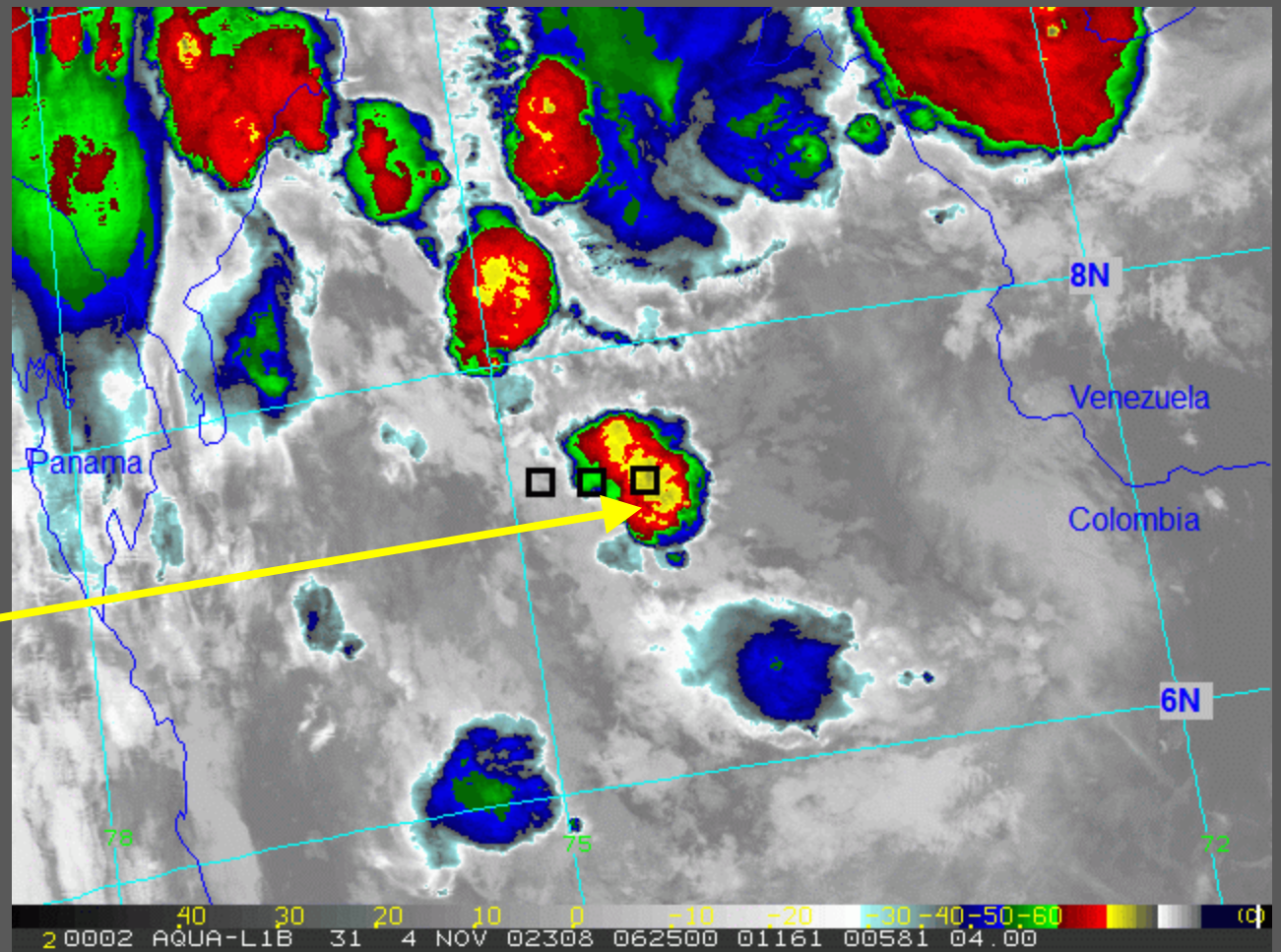
Medidas de la radiación emitida por las características terrestres (no la reflexión de radiación solar)

Cielos Despejados vs Nubes Convectivas



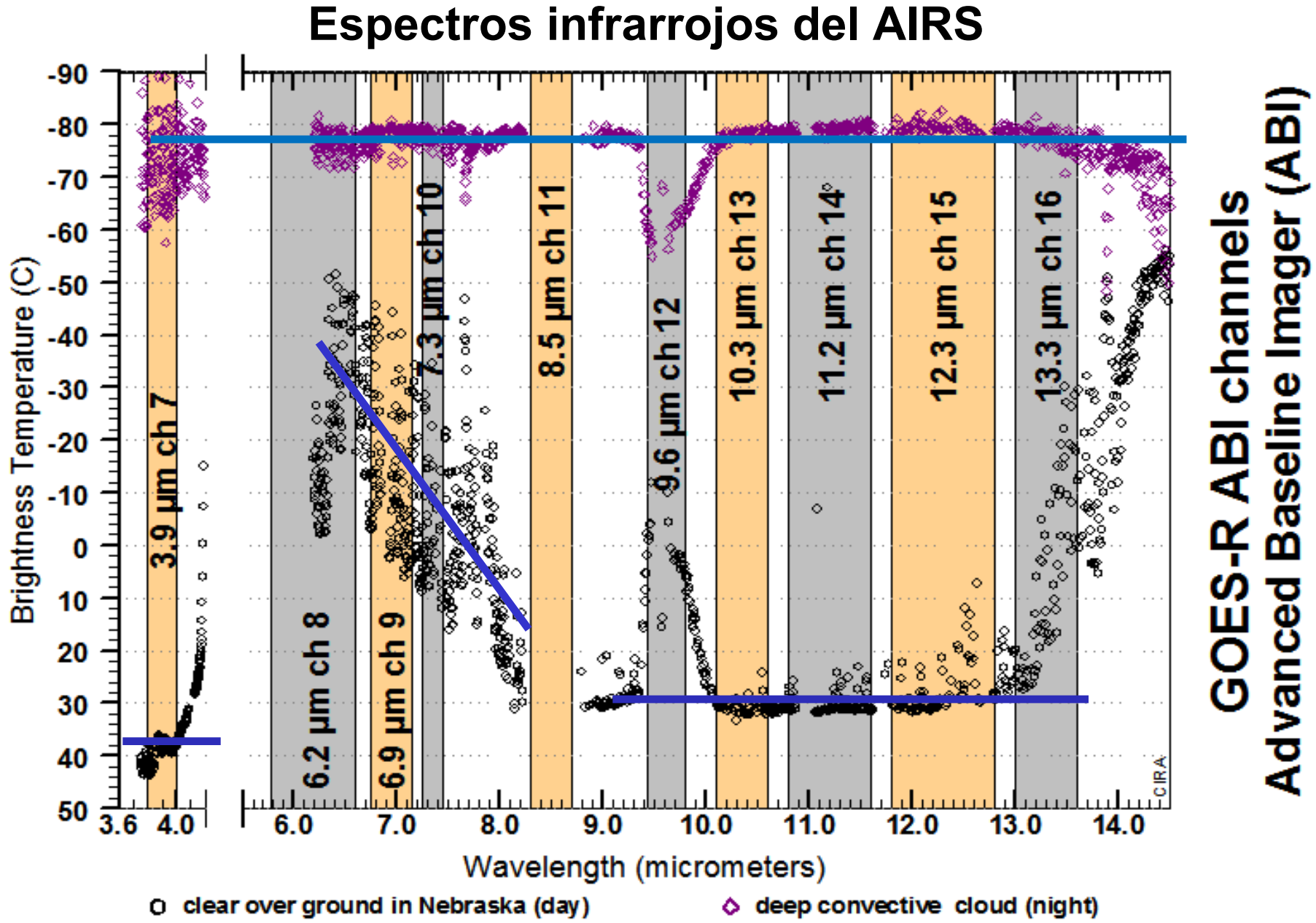
Suelo cálido en un día despejado

Tope de nube fría de una nube convectiva en la noche



Espectros de Temperatura de Brillo

launch 2016

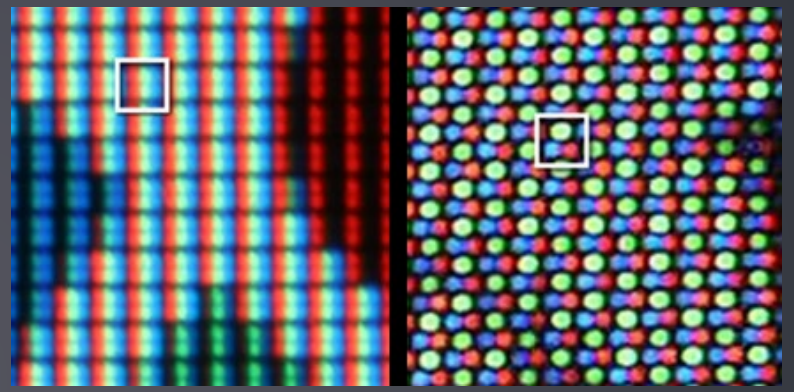


04

Composición Rojo-Verde-Azul o RGB (siglas en Ingles)

Composición Rojo-Verde-Azul o RGB

- RGB es el modo de color que se usa el monitores electrónicos
- La técnica RGB combina luz en tonos de rojo, verde, y azul para generar efectos visuales que se ven como otros colores.
- Es aditivo



Acercamiento a un monitor. Fuente: https://designmanagementlucerne.wordpress.com/

Red 0%	+	Green 0%	+	Blue 0%	= 0	Negro o no color (no hay contribución)
Red 100%	+	Green 100%	+	Blue 100%	= 300	Blanco o color brillante (todos contribuyen)

Generando una escala gris en RGB

Brillo significa mas información

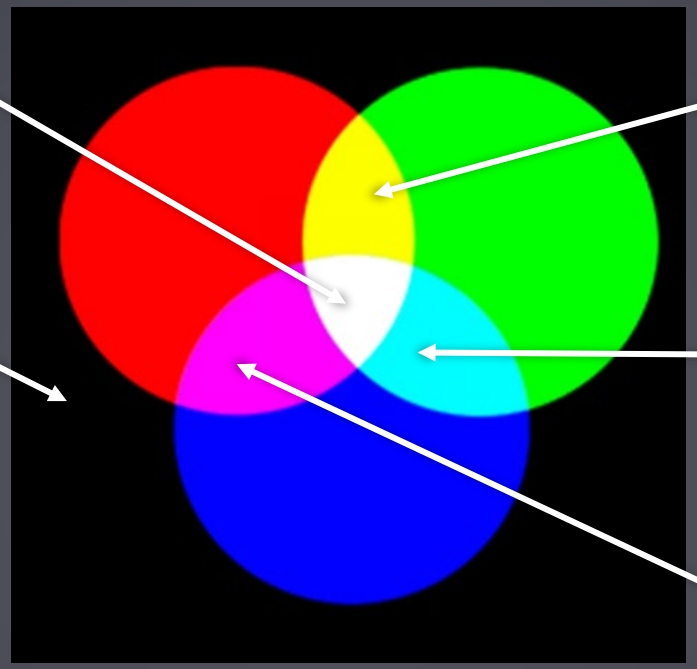
Para obtener una escala gris, se necesitan igualar las contribuciones de R, G y B:

Rojo 100%	+	Verde 100%	+	Azul 100%	= 300	**Blanco** Contribuciones equitativas grande
Rojo 67%	+	Verde 67%	+	Azul 67%	= 200	**Gris Claro** Contribuciones equitativas moderadas
Rojo 33%	+	Verde 33%	+	Azul 33%	= 100	**Gris Oscuro** Contribuciones equitativas bajas
Rojo 0%	+	Verde 0%	+	Azul 0%	= 0	**Negro (no color)** Nadie contribuye

Mezclas Diferentes Producen Colores Diferentes

Blanco: Todos los RGB contribuyen 100%

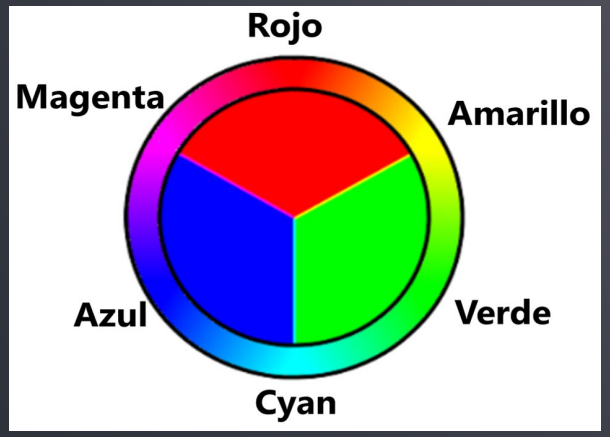
Negro: Todos los RGB contribuyen 0%



Solamente Rojo y Verde producen amarillo
R G B

Solamente verde y azul producen cian
R G B

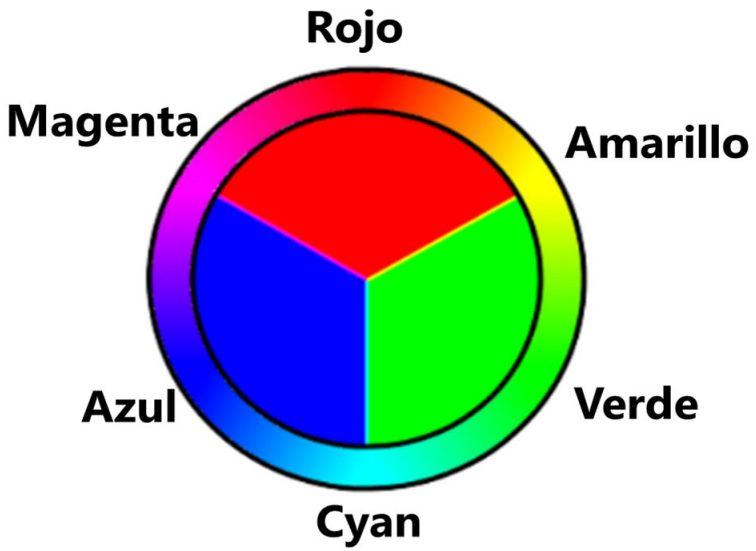
Solamente rojo y azul producen magenta
R G B



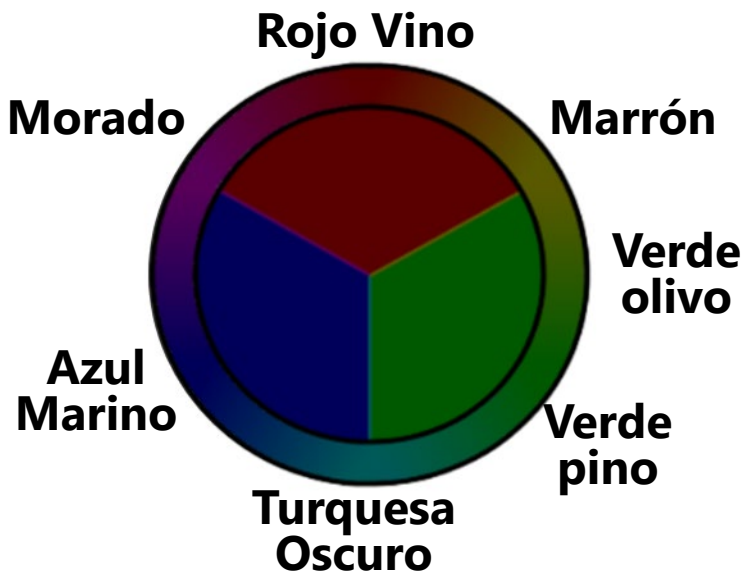
Podemos producir mas colores solamente jugando con las proporciones de rojo, verde, y azul

La intensidad (monto de contribución) de rojo, verde, y azul afectan el brillo del color final

Contribución Max:
100% de cada uno



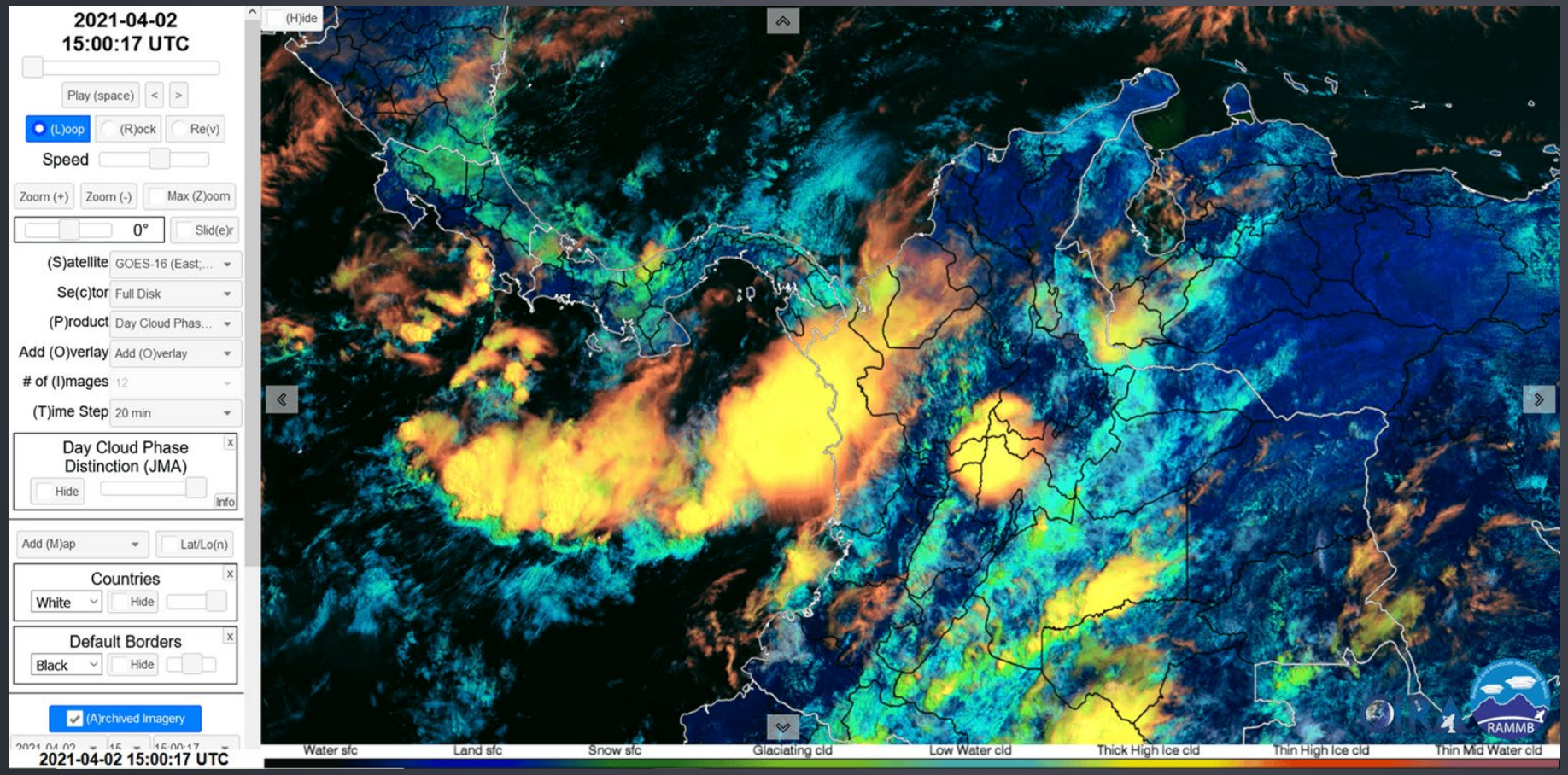
Contribución baja:
30% de cada uno

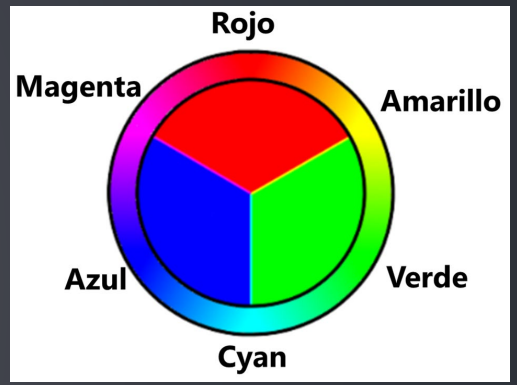



Day Snow Fog RGB
Natural Color RGB
Productos RGB
Day Cloud Phase Distrinction RGB
Air mass RGB

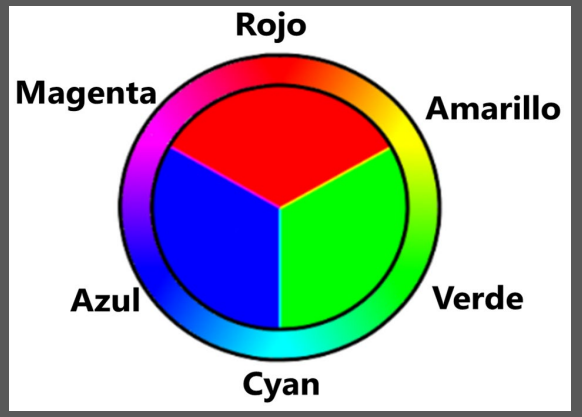
Interpretando Productos RGB

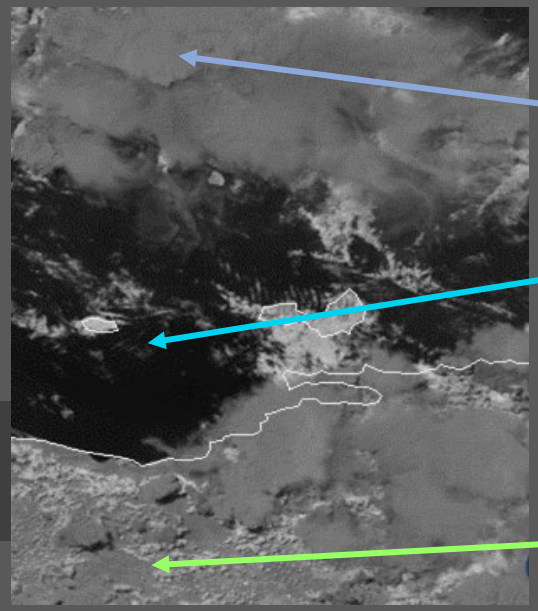
Colores diferentes significan cosas diferentes.
Contexto, textura, movimiento y otros aspectos dan mas información.





Color Natural RGB



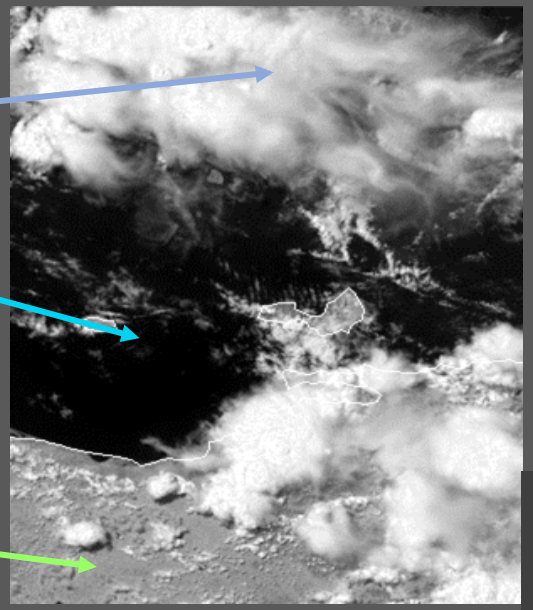


Nube de Hielo

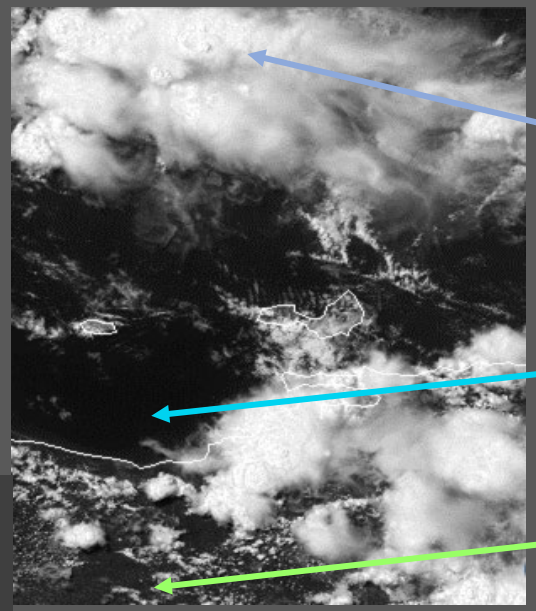
océano

grama

1,6 µm
(NIR)



0,84 µm
NIR

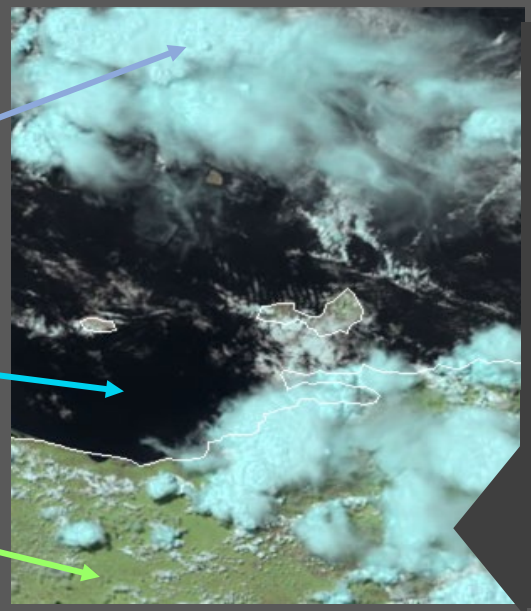


Nube de Hielo

océano

grama

0,64 µm
Red visible



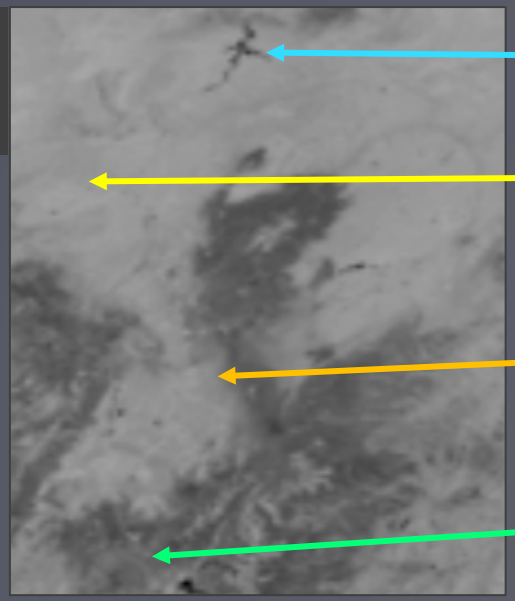
RGB EUMETSAT
Natural Color

RGB NOAA
Day-land-cloud

R·
R:1.6
G: 0.84
B: 0.64

Color Natural RGB, otra vez

1,6 µm
IR cercano

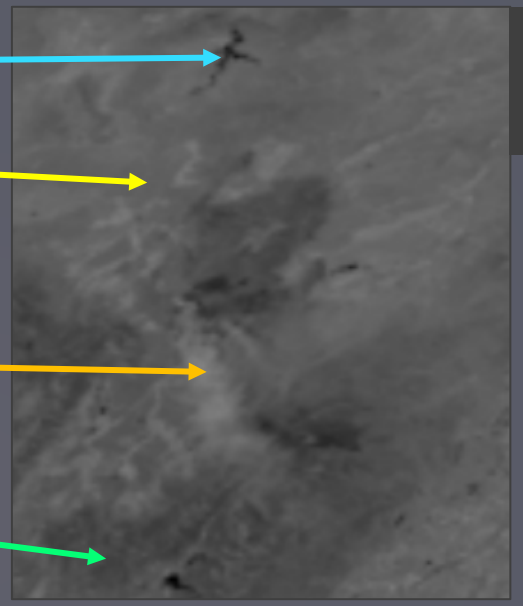


agua

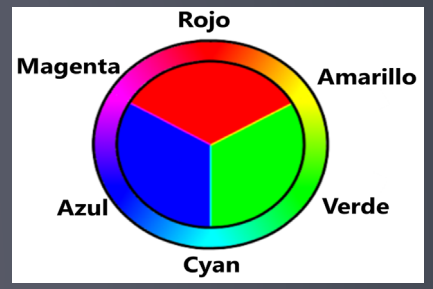
Pastos secos

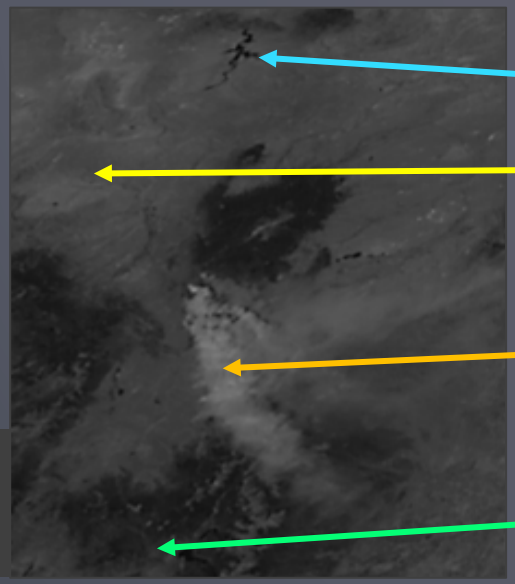
Humo y nubes de hielo?

bosque



0,84 µm
IR cercano





agua

Pastos secos

Humo y nubes de hielo?

bosque



RGB EUMETSAT
Natural Color

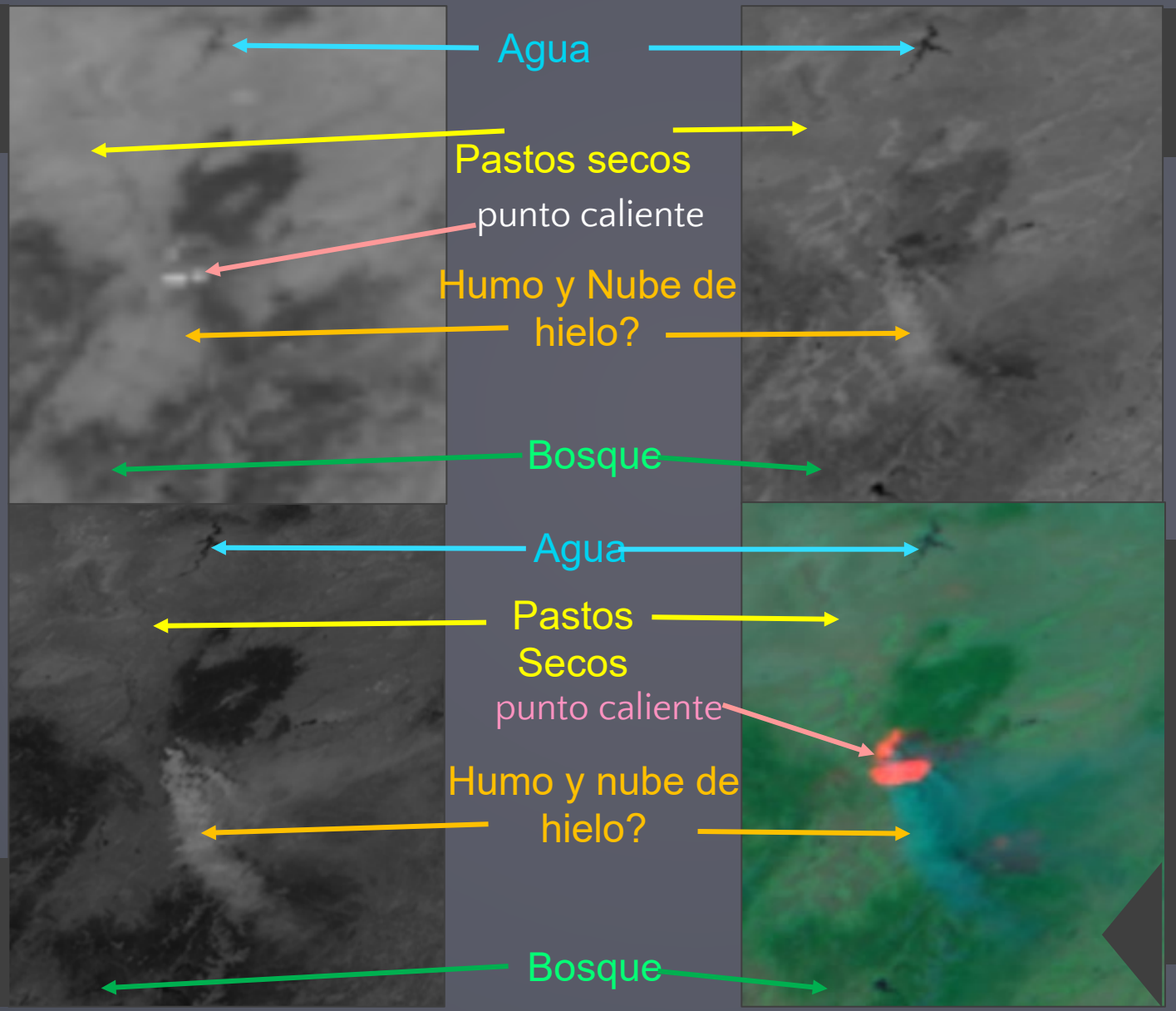
RGB NOAA
Day-land-cloud

R: 1.6
G: 0.84
B: 0.64

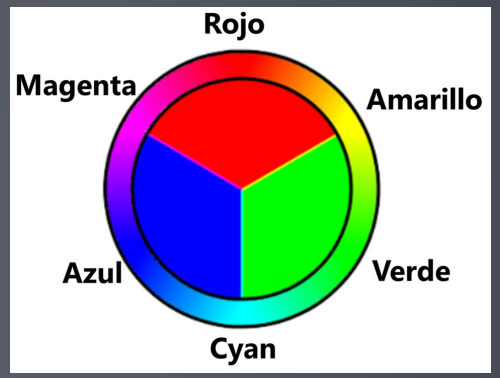
0,64 µm
VIS “Rojo”

Color Natural Incendio (banda 1.6 reemplazada con 2.2)

2,2 µm
NIR



0,86 µm
NIR



RGB EUMETSAT
Natural Color Fire

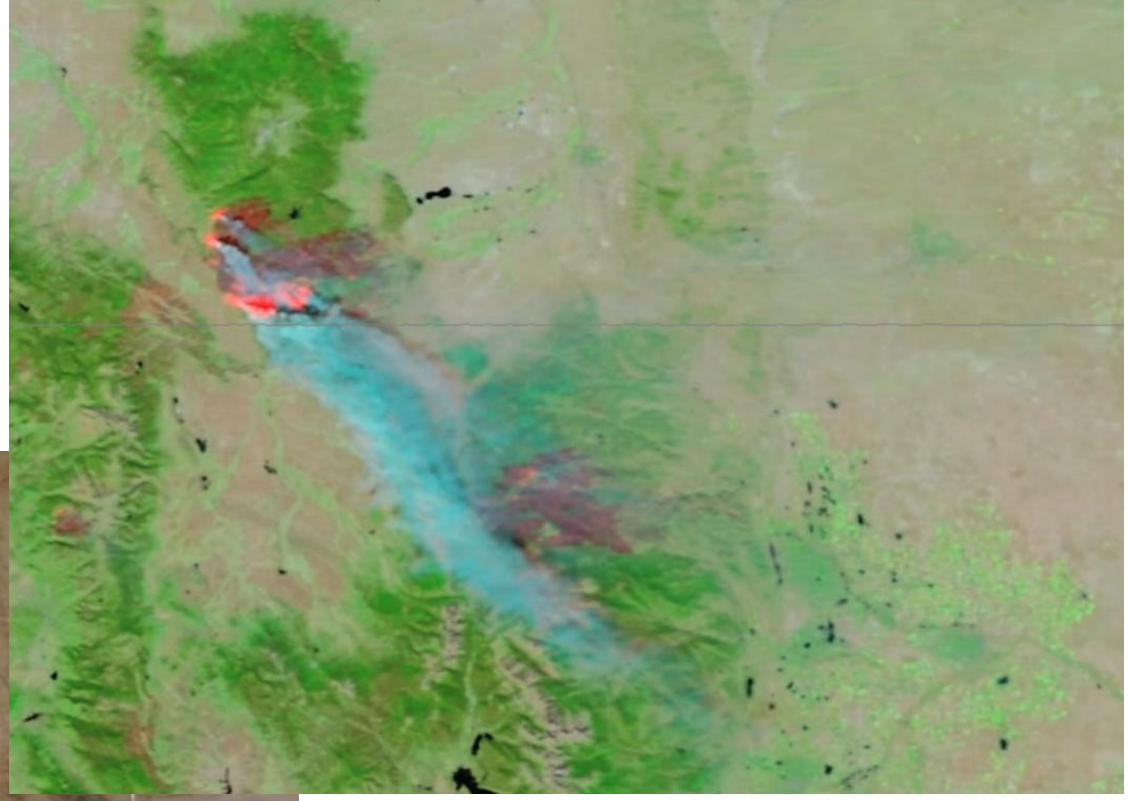
RGB NOAA
Day-Land-Cloud Fire

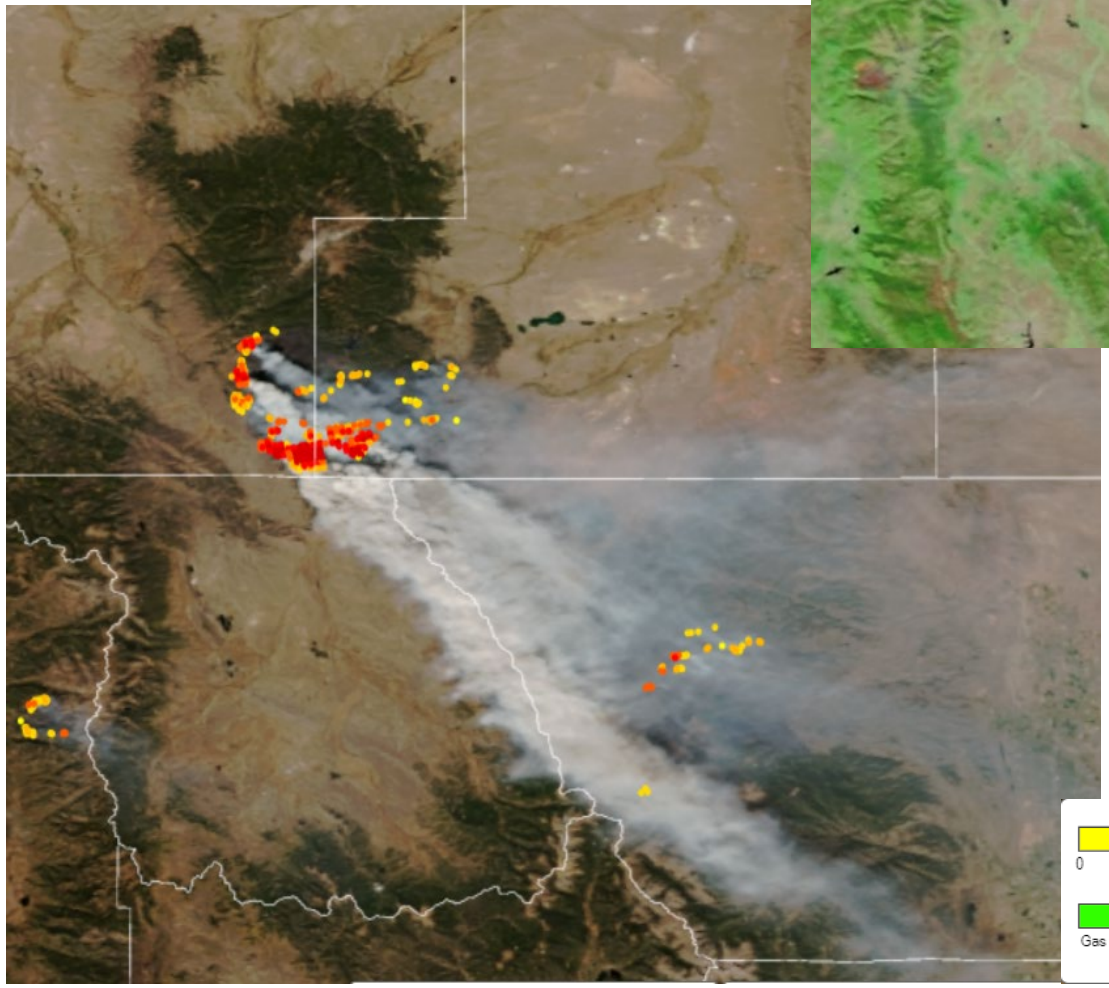
R: **2.2**
G: 0.84
B: 0.64

0,64 µm
VIS red

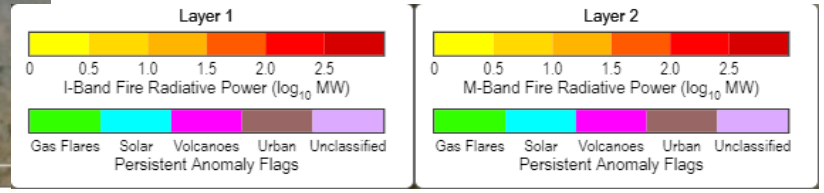
Day land cloud fire RGB using VIIRS (satelites polar)>>>

30 sep 2020
~20:15 UTC



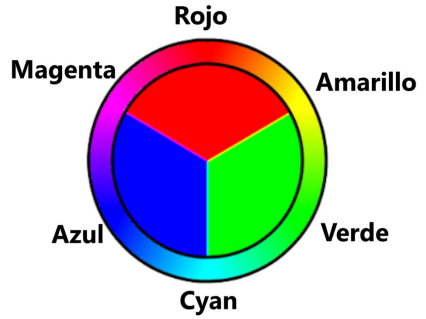


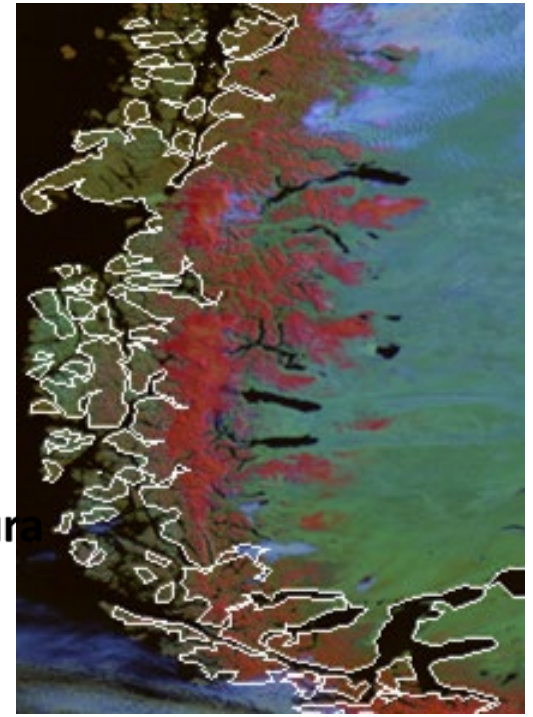
<<< True Color RGB, overlaid to Fire Radiative power, bands I and M. *Fuente JSTAR Mapper: https://www.star.nesdis.noaa.gov/jpss/mapper/*



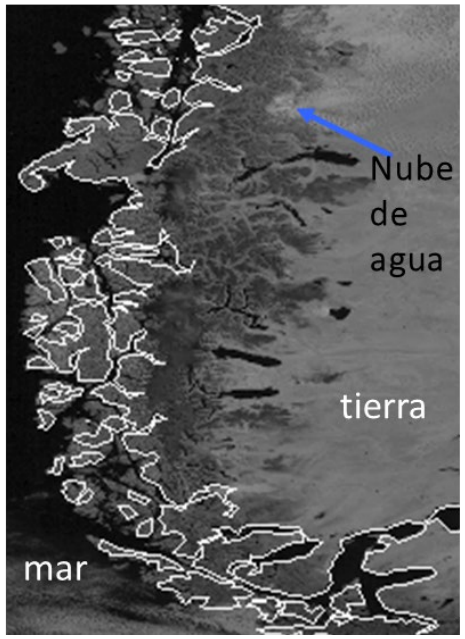
RGB Día-Nieve-Neblina/niebla

Quién es R, G y B?

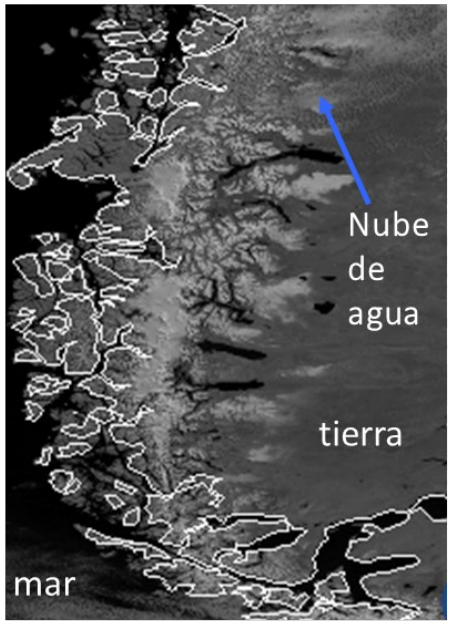




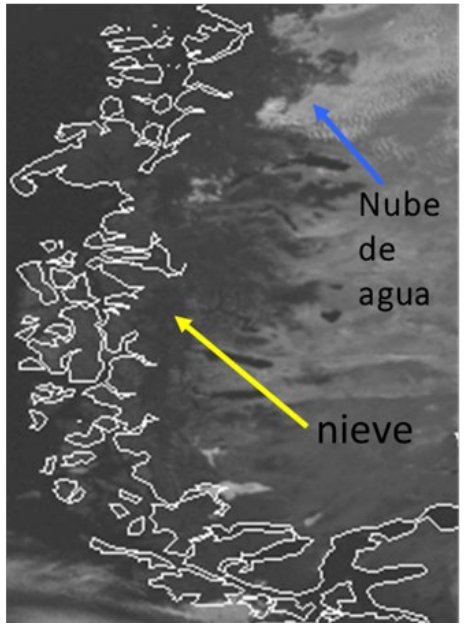
1.6 µm, IR cercano



0.86 µm, IR cercano



Diferencia de Temperatura de Brillo de 3.9-10.3µm



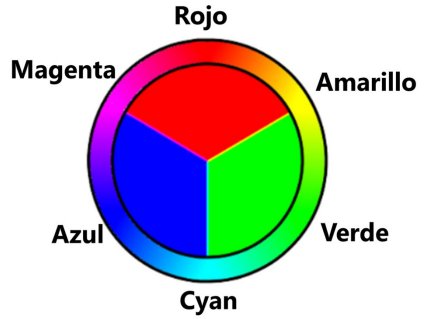
"RGB Nieve-niebla en el día"

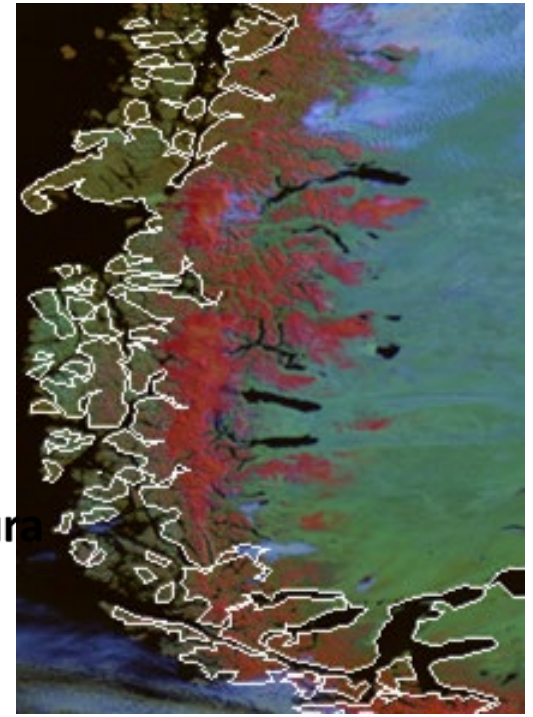
R:
G:
B:

* Un poco diferente de EUMETSAT y JMA

RGB Dia-Nieve-Neblina/niebla

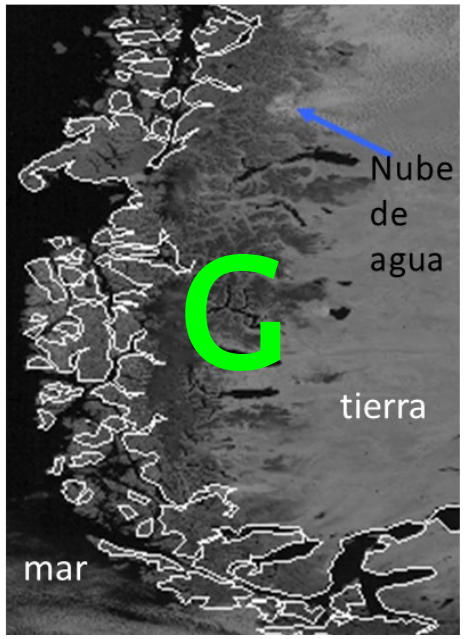
Quién es R, G y B?



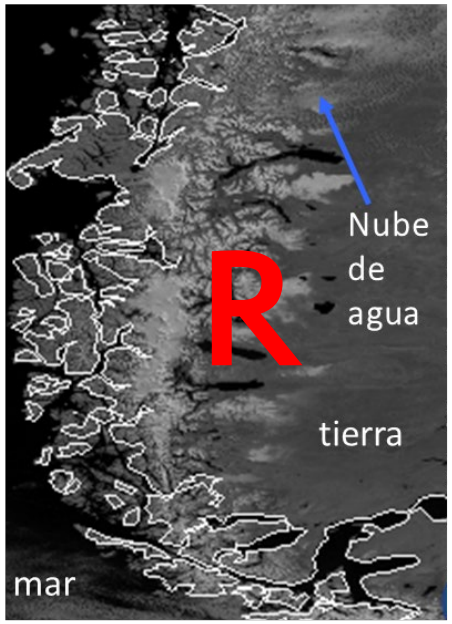


"RGB Nieve-niebla en el día"

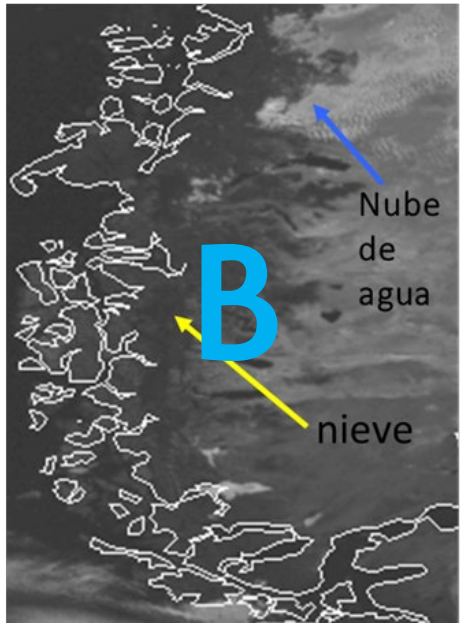
1.6 µm, IR cercano



0.86 µm, IR cercano



Diferencia de Temperatura de Brillo de 3.9-10.3µm



R: 0.86 µm
G: 1.61 µm
B: BTD 3.9-10.3

* Un poco diferente de EUMETSAT y JMA

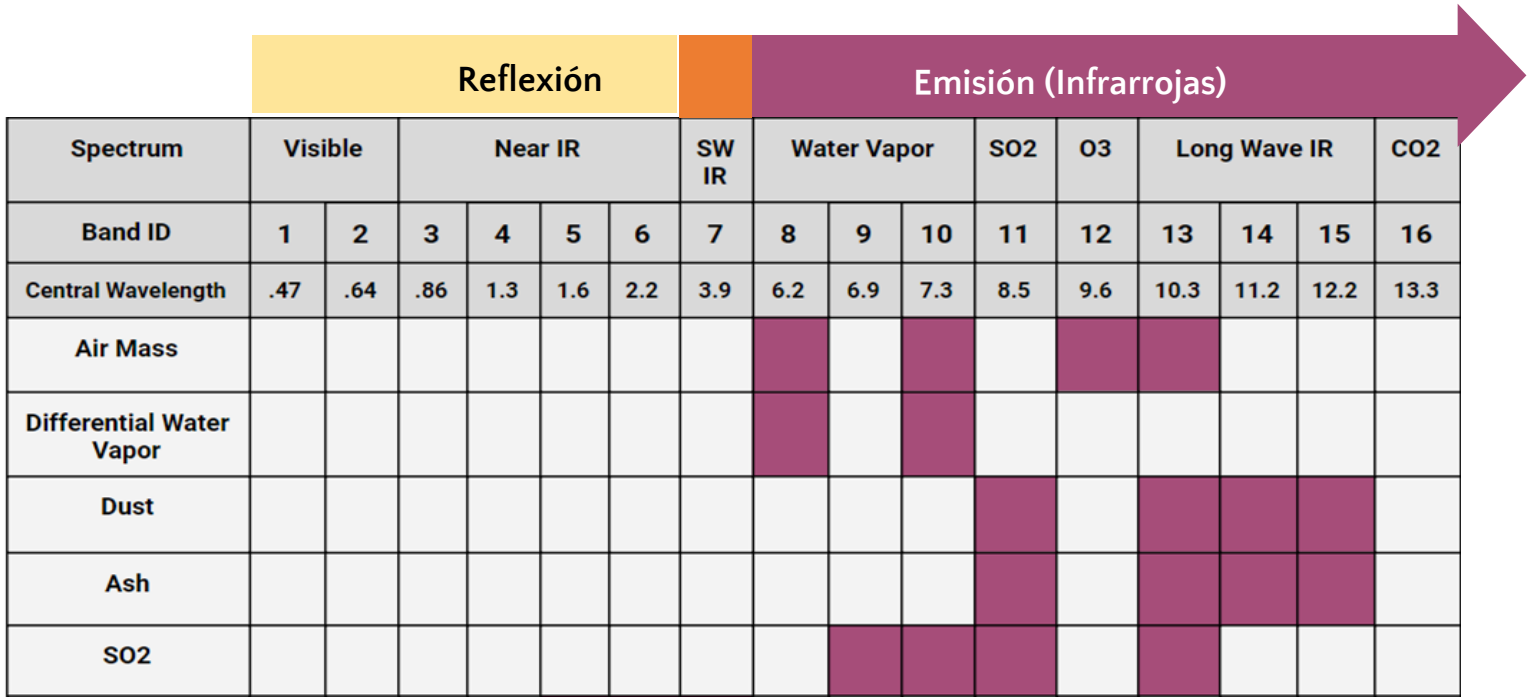
Unos RGBs que funcionan durante el día y la noche

Reflexión → Emisión (Infrarrojas)

Spectrum	Visible		Near IR				SW IR	Water Vapor			SO2	O3	Long Wave IR			CO2
Band ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Central Wavelength	.47	.64	.86	1.3	1.6	2.2	3.9	6.2	6.9	7.3	8.5	9.6	10.3	11.2	12.2	13.3
RGBs THAT ONLY WORK WITH DAYLIGHT																
Day Convection or Severe Storm		■			■		■	■		■			■			
Day Cloud Phase Distinction		■			■								■			
Day Cloud Phase Distinction CPTEC		■			■	■										
Day Microphysics			■				R						■			
Day land cloud or Natural Colors		■	■			■										
Day Snow Fog			■		■		■						■			
GeoColor Day	■	■	■													
RGBs THAT ONLY WORK WITHOUT DAYLIGHT																
Night Microphysics							■						■		■	
Night Fog and Geocolor Night							■						■			

RGBs que funcionan durante el día

- Porque no dependen de la reflexión solar

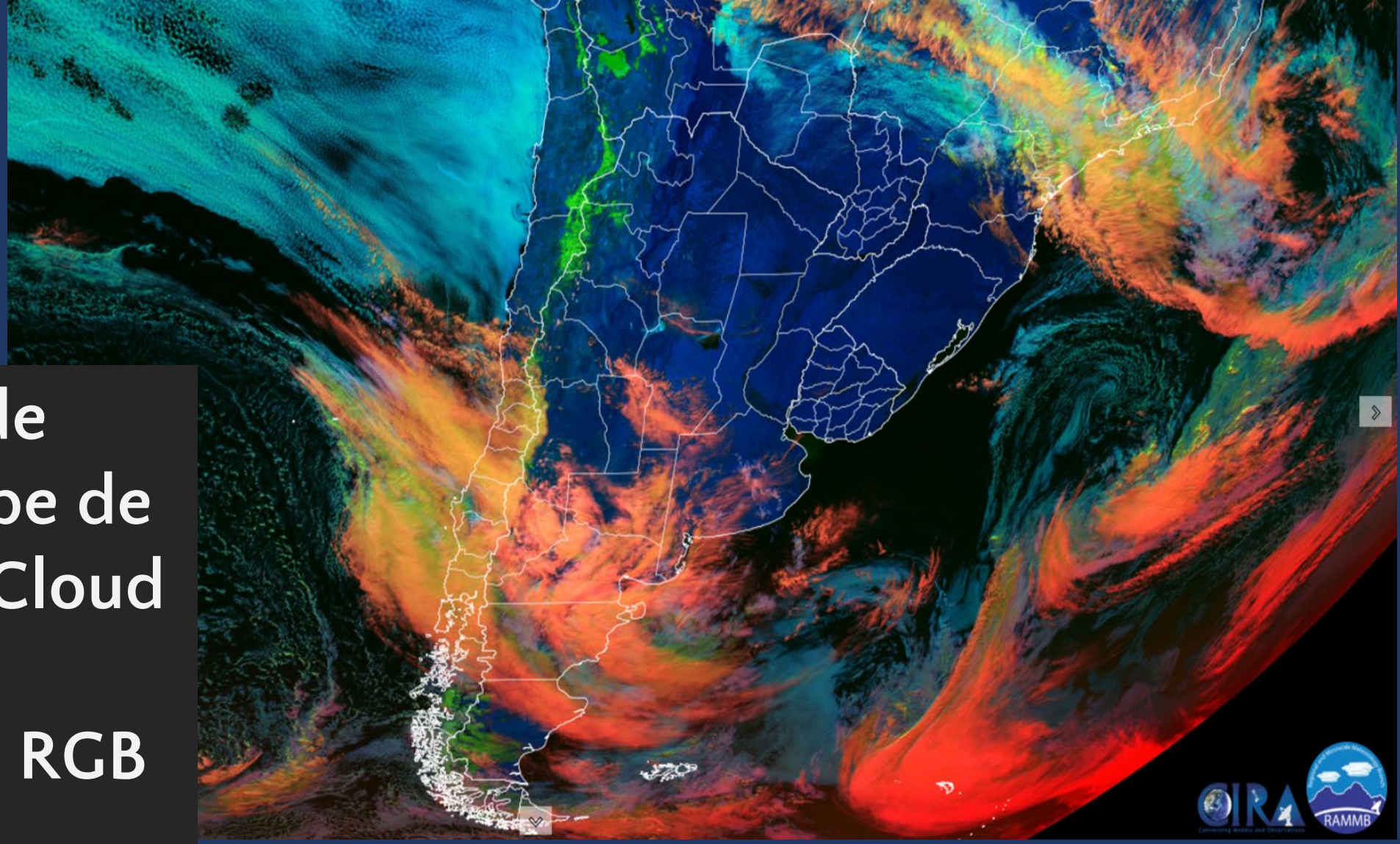


Spectrum	Visible		Near IR				SW IR	Water Vapor			SO2	O3	Long Wave IR			CO2
Band ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Central Wavelength	.47	.64	.86	1.3	1.6	2.2	3.9	6.2	6.9	7.3	8.5	9.6	10.3	11.2	12.2	13.3
Air Mass								■		■		■	■			
Differential Water Vapor								■		■						
Dust											■		■	■	■	
Ash											■		■	■	■	
SO2									■	■	■		■			

05

Detección satelital de sistemas del tiempo con énfasis en la convección

Distinción de Fase de Nube de Día (o Day Cloud Phase Distinction) RGB



Guía Rápida:
http://rammb.cira.colostate.edu/training/rmtc/docs/QuickGuides/QuickGuide_DayCloudPhaseDistinctionRGB_es.pdf

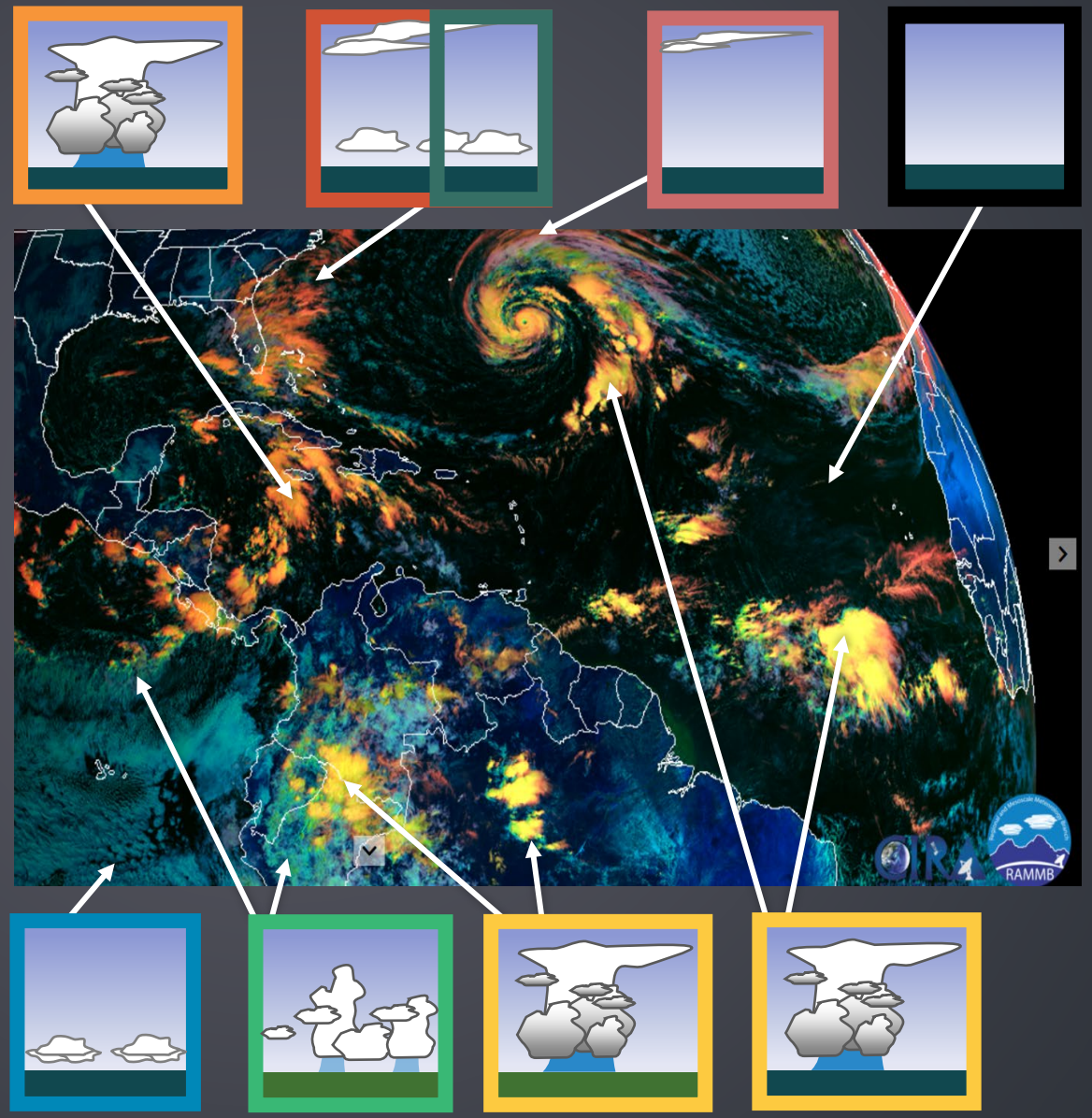
Day Cloud Phase Distinction RGB

Objetivo

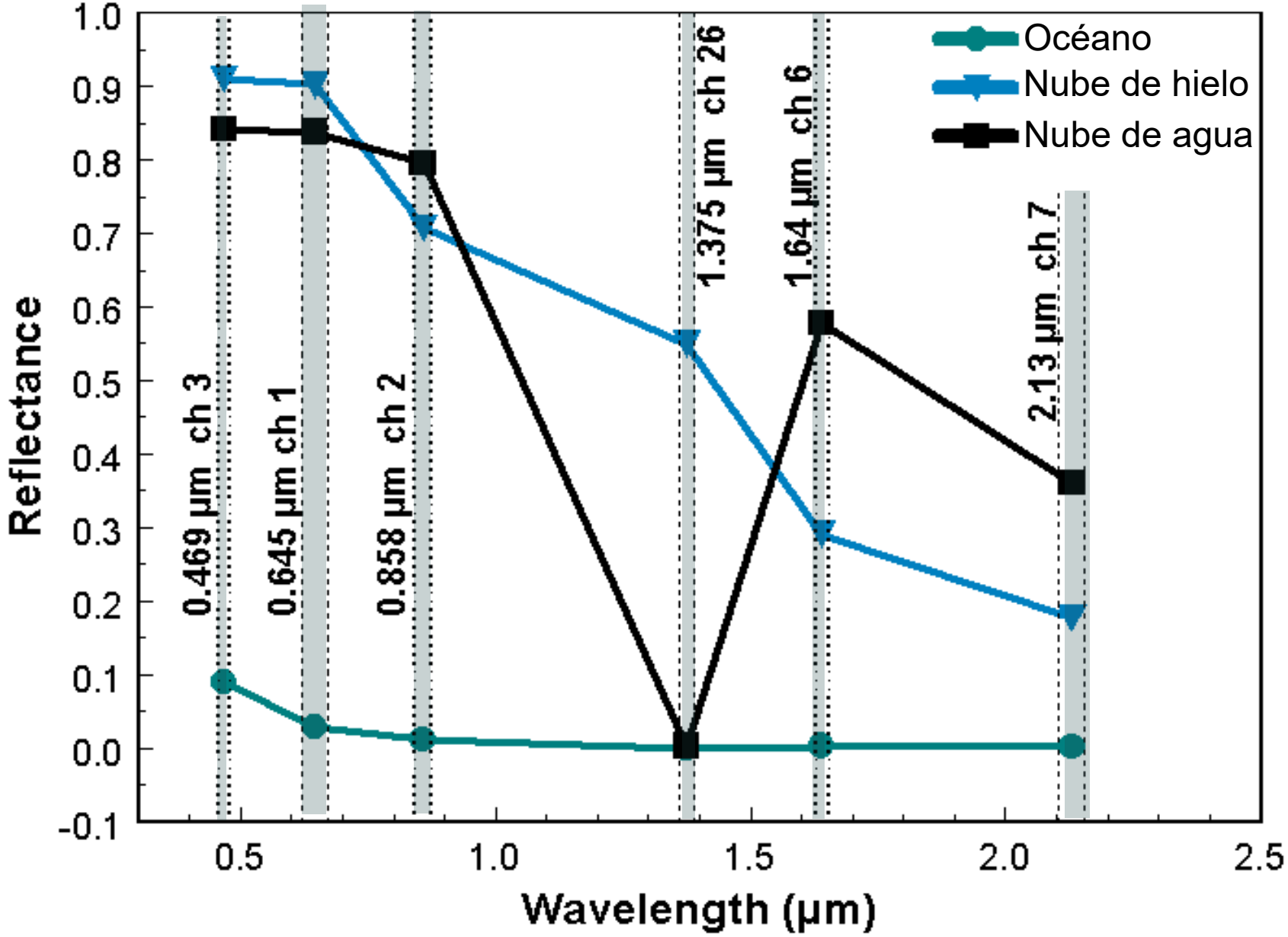
Distinguir entre liquido vs hielo en las nubes con aplicaciones para tiempo severo, glaciación, lluvias fuertes y la evolución del inicio de convección.

R: 10.3um (ventana atmosférica en de onda larga IR), buena estimación de la temperaturas de topes de nubes. Captura las nubes frías (convección profunda).

- G, B: Usan dos canales reflectantes, uno que resalta la presencia de hielo.



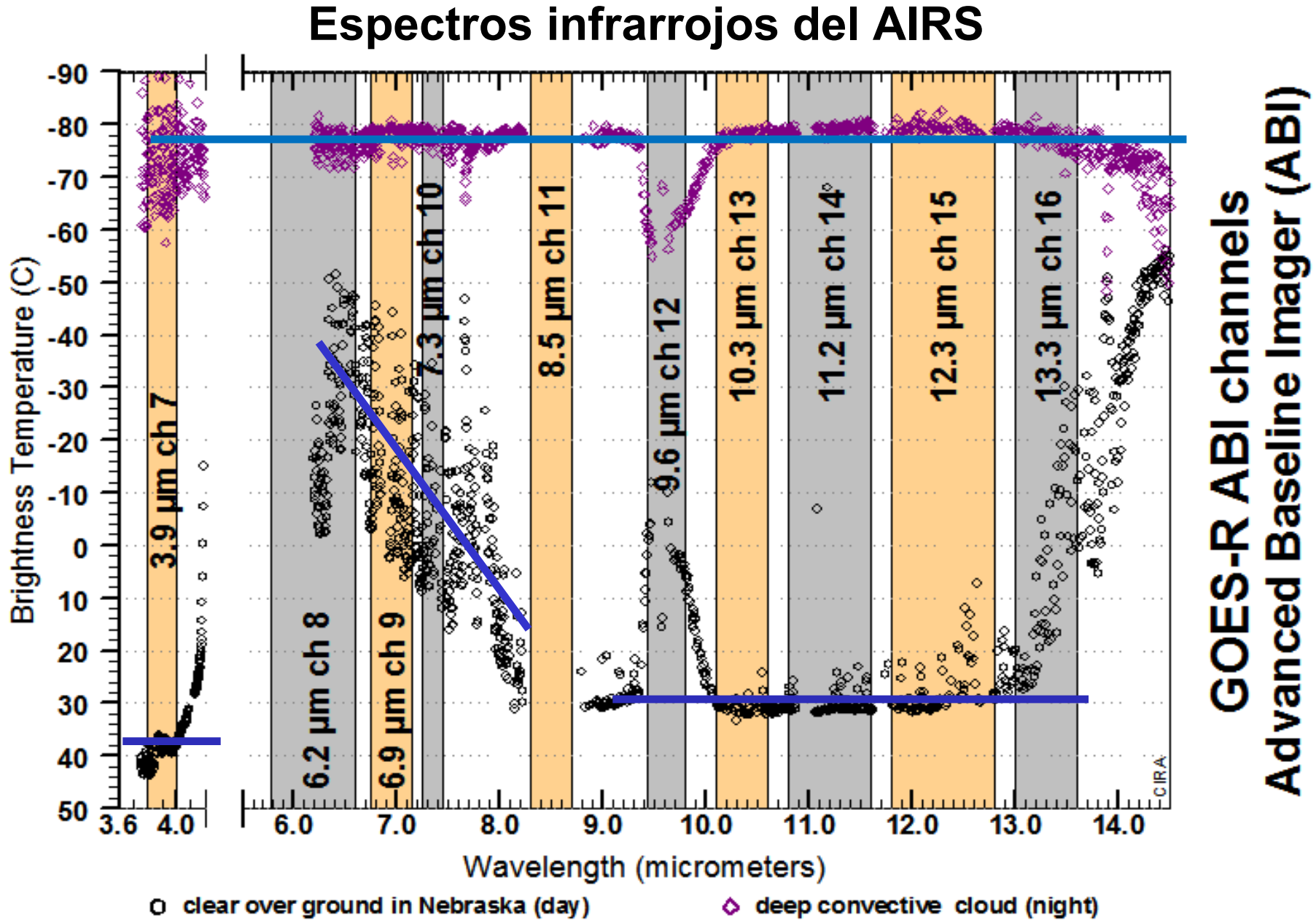
Visible to Near Infrared



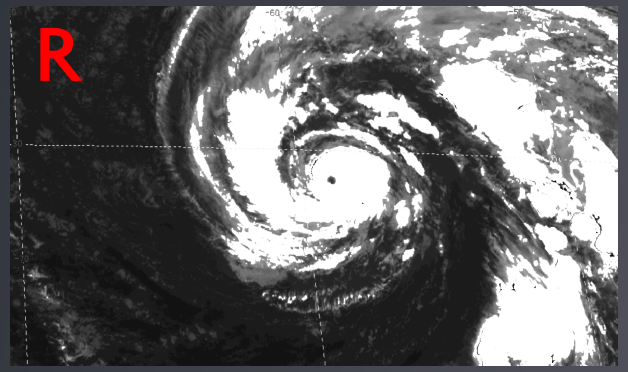
Canales MODIS

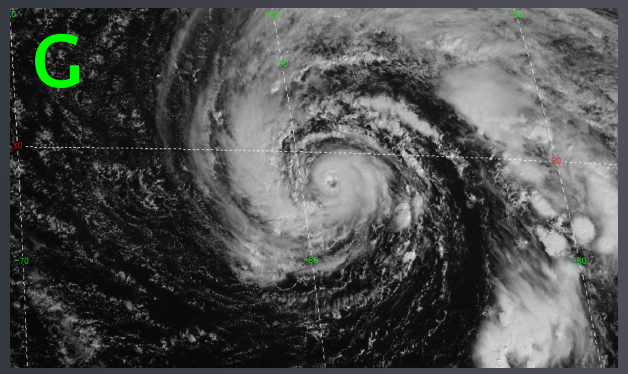
Espectro de Temperatura de Brillo

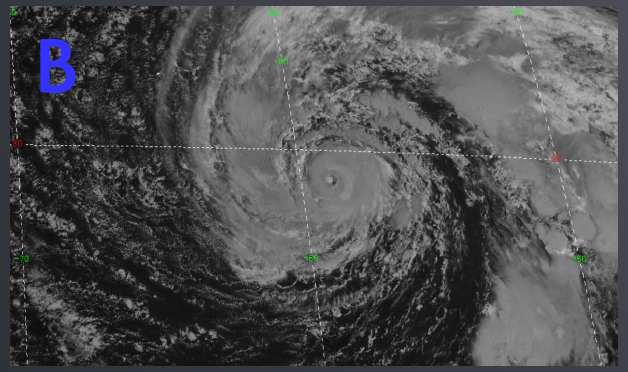
launch 2016



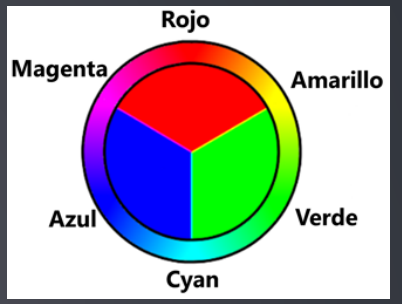
Day Cloud Phase Distinction RGB

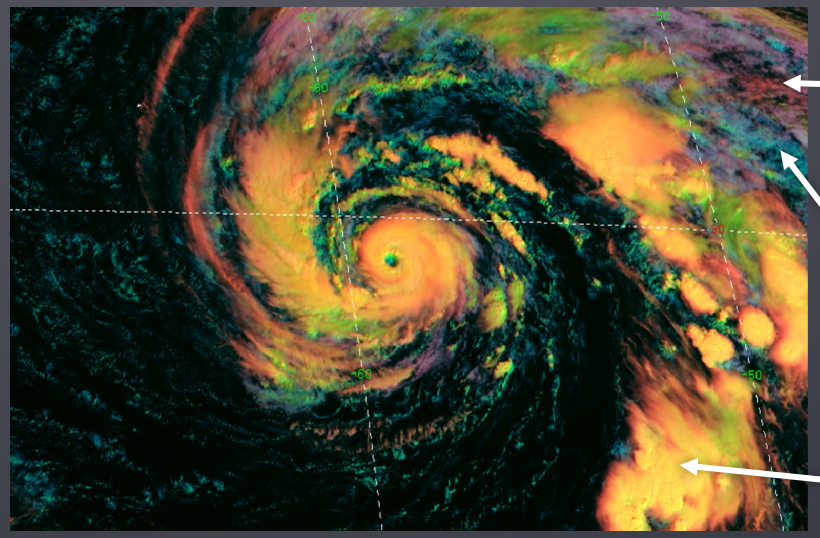






Color	Long de onda (µm) [Banda]	Mín a máx Gamma
R-rojo	10.3 [13]	7.5 a -53.5°C 1
G-verde	0.64 [2]	0 a 78 % albedo 1
B-azul	1.6 [5]	1 a 59 % albedo 1

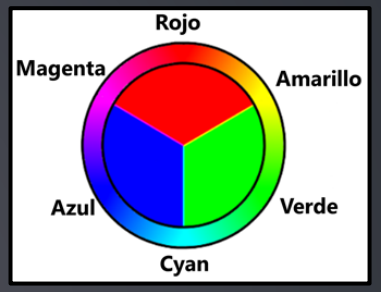


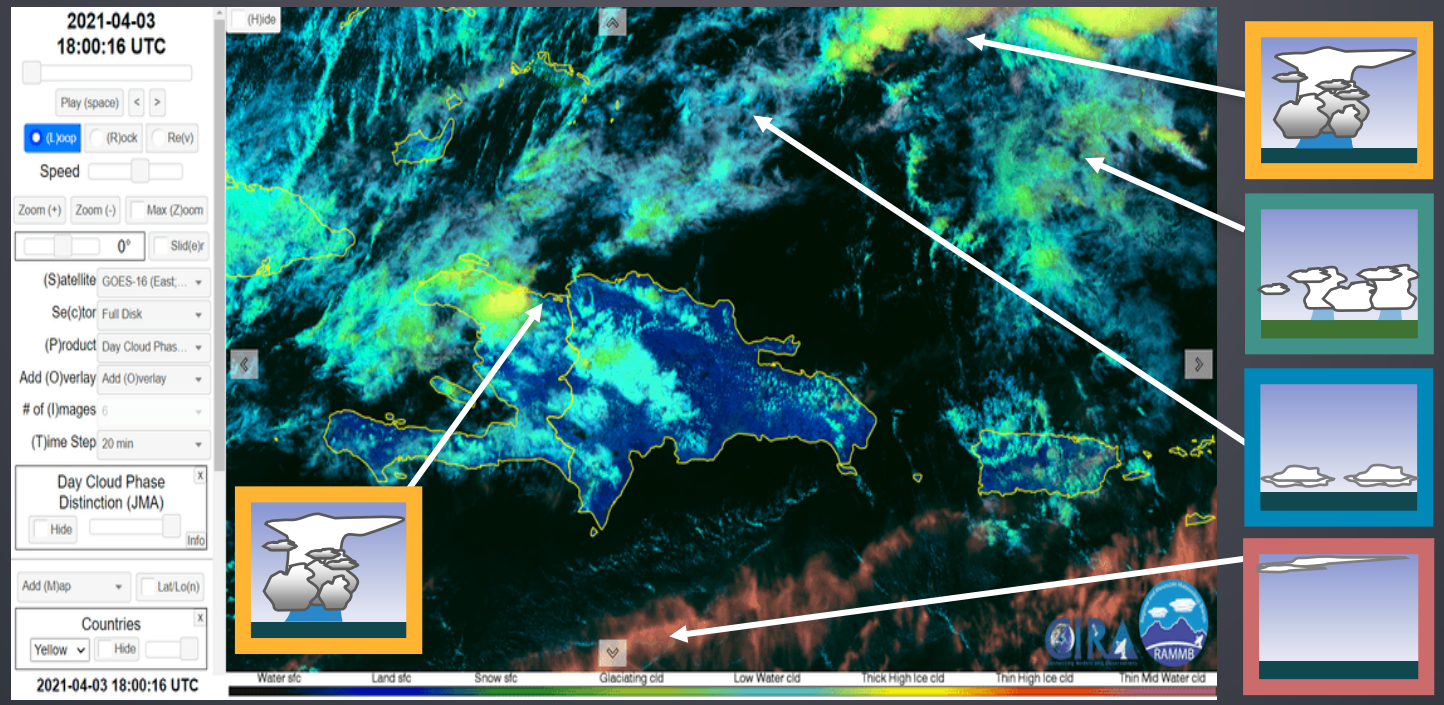




RGB de Distinción de Fase de Nube de Día

Color	Long de onda (µm) [Banda]	Mín a máx Gamma	Se relaciona físicamente con…	Aporte pequeño a píxeles indica…	Aporte grande a píxeles indica…
R-rojo	10.3 [13]	7.5 a -53.5°C 1	Temperatura de la superficie o el tope de la nube	Caliente: tierra (estacional), océano	Frío: suelo (invierno), nieve, nubes altas
G-verde	0.64 [2]	0 a 78 % albedo 1	Reflectancia de las nubes y superficies	Agua, vegetación, suelo, océano	Nube, nieve, arena blanca
B-azul	1.6 [5]	1 a 59 % albedo 1	Reflectancia, fase de las partículas	Partículas de hielo, océano	Partículas de agua, superficie del suelo

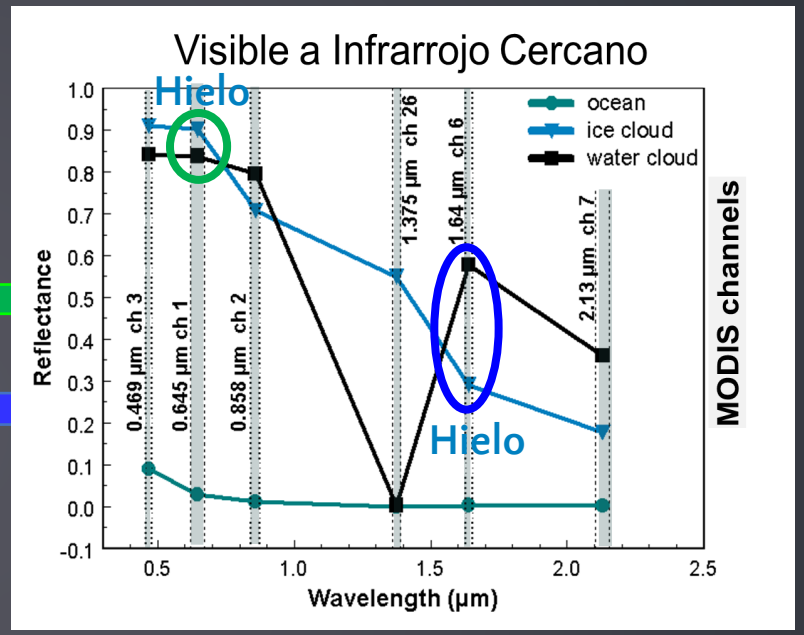


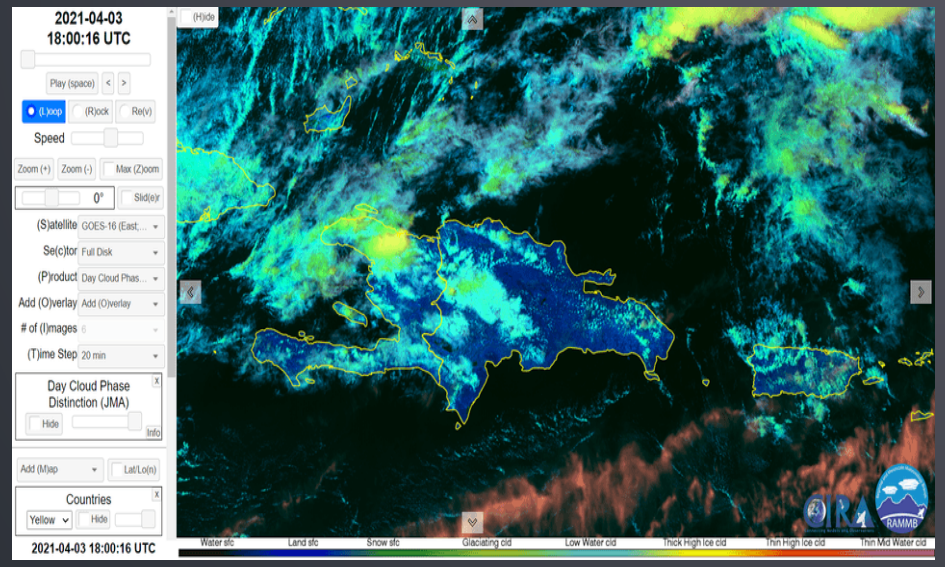


Diferenciación entre hielo vs agua en nubes

Color	Long de onda (µm) [Banda]	Mín a máx Gamma
R- rojo	10.3 [13]	7.5 a -53.5°C 1
G- verde	0.64 [2]	0 a 78 % albedo 1
B- azul	1.6 [5]	1 a 59 % albedo 1

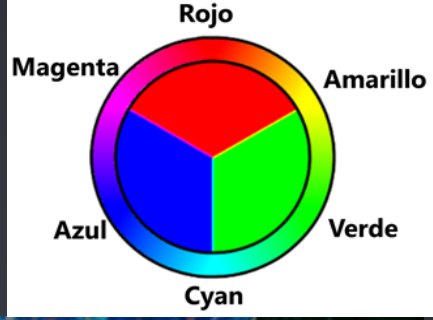
Rojo = Nubes frías (hielo)

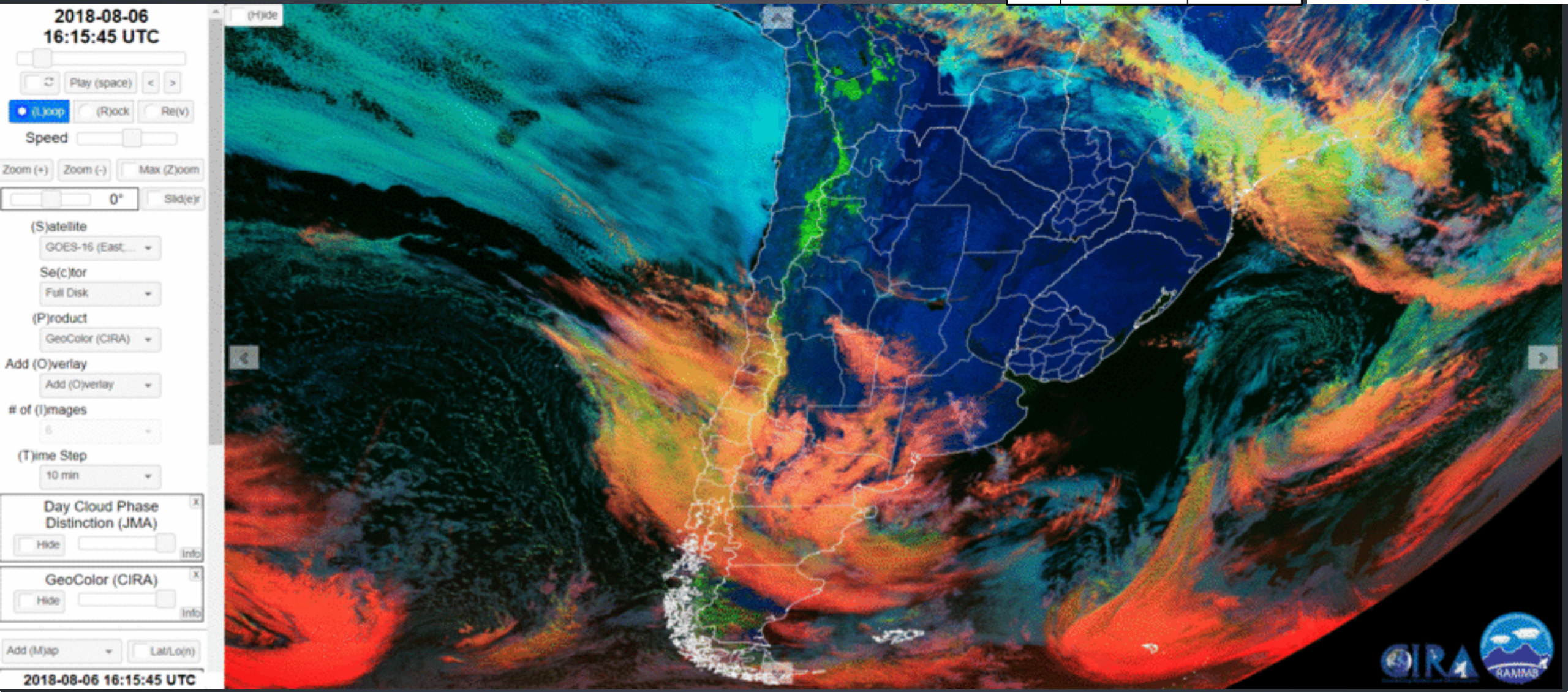




Ejercicio: Evaluar Tipos de Nubes

Color	Long de onda (µm) [Banda]	Mín a máx Gamma
R-rojo	10.3 [13]	7.5 a -53.5°C 1
G-verde	0.64 [2]	0 a 78 % albedo 1
B-azul	1.6 [5]	1 a 59 % albedo 1

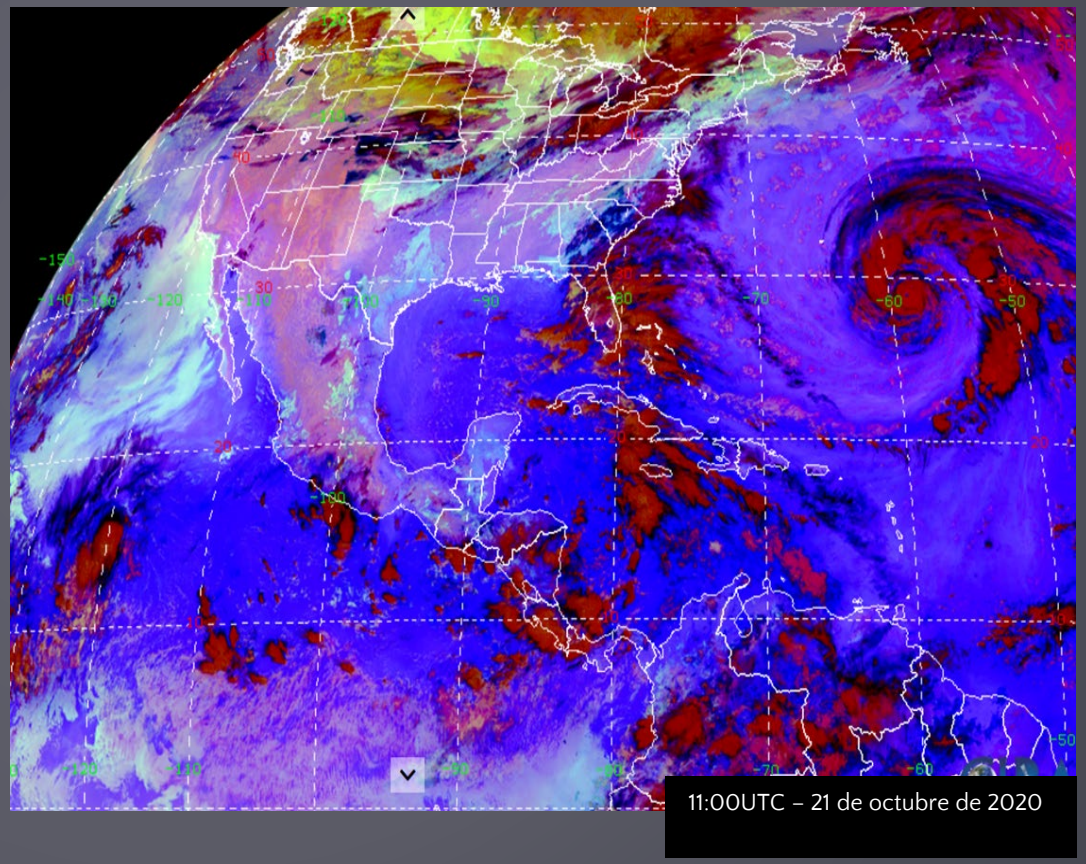




Nighttime Microphysics (Microfísica Nocturna) RGB

Objetivo

- Mejorar la detección de tipos de nubes y procesos durante la noche, especialmente para la detección de nubes bajas y neblina/niebla.
- La diferencia entre 10.3 – 3.9 um ayuda a detectar nubes de agua vs hielo, resaltar nubes bajas en cian/blanco.
- Nota que todos los canales que se usan son de IR, entonces trabajan durante la noche: 3.9, 10.3 y 12.3um

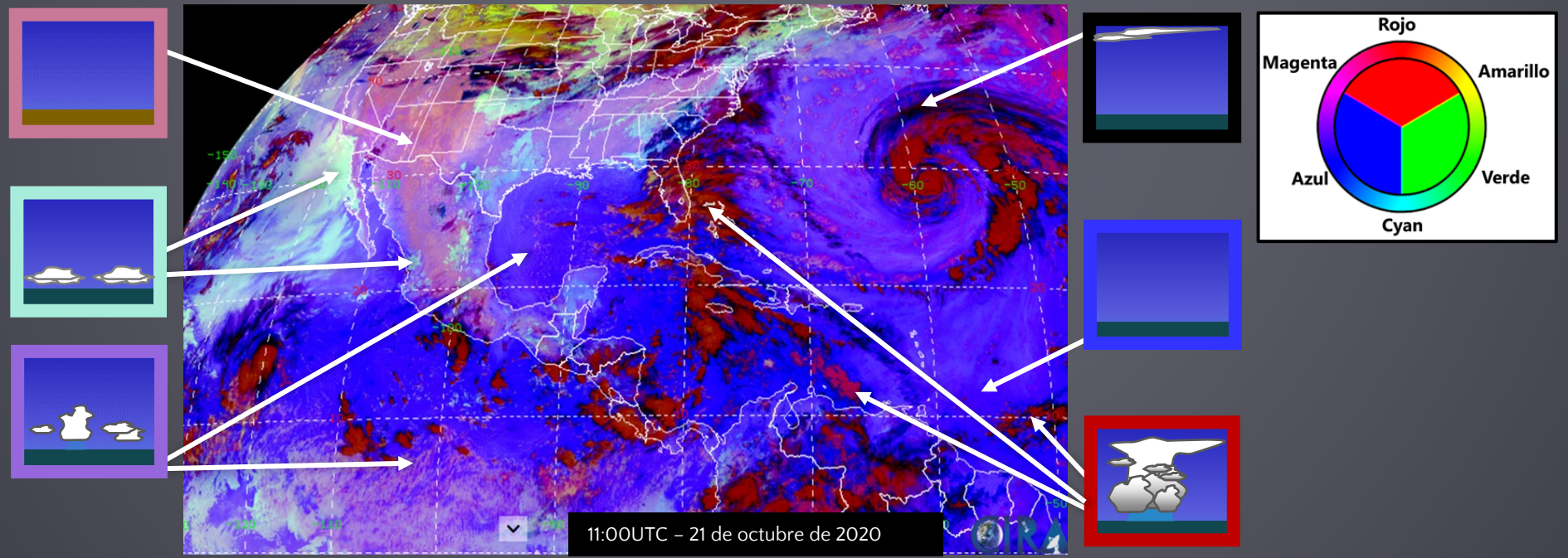


Nighttime Microphysics RGB

Fórmula del producto RGB Microfísica Nocturna

(**Nota:** las nubes opacas constituyen la mejor aplicación. Las nubes semitransparentes sienten la influencia de las superficies subyacentes.)

Color	Banda / Resta de bandas (µm)	Rango (mín. – máx.)	Se relaciona físicamente con...	Aporte pequeño a píxeles indica...	Aporte grande a píxeles indica...
R - rojo	12.3-10.3	-6.7 a 2.6 °C	Profundidad óptica	Nubes delgadas	Nubes gruesas
G - verde	10.3-3.9	-3.1 a 5.2 °C	Fase y tamaño de las partículas	Partículas de hielo; superficie (sin nubes)	Nubes de agua con partículas pequeñas
B - azul	10.3	-29.6 a 19.5 °C	Temp. de la superficie	Superficies frías	Superficies cálidas

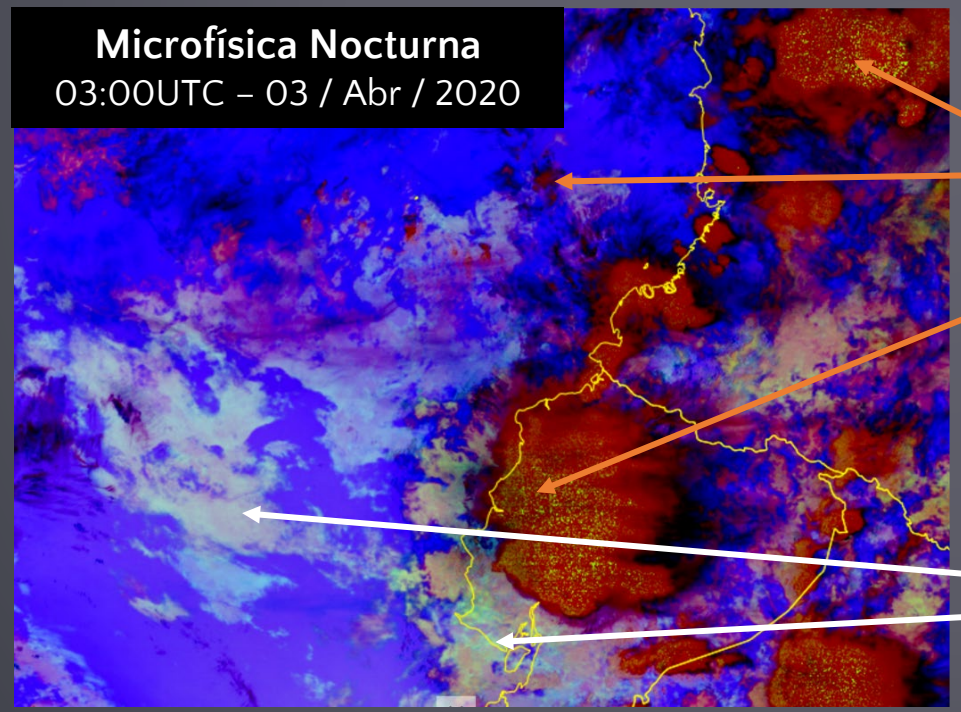


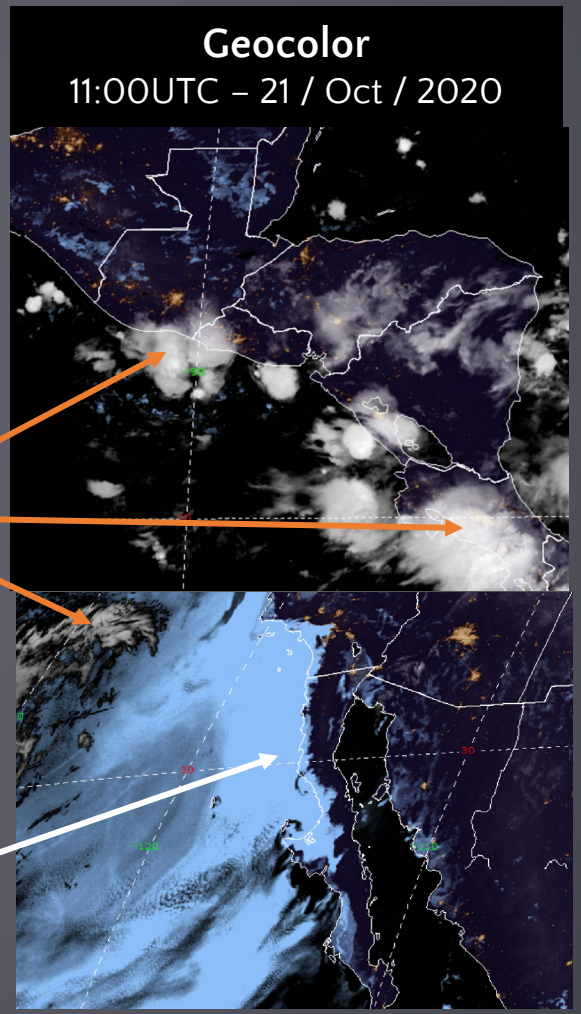
Nubes de Hielo vs. Agua

(Diferencia 3.9 – 10.3um)

Nubes de liquido vs hielo producen diferentes señales radiativas en 3.9 y 10.3um, entonces diferenciarlos permite determinar el tipo de nube.

Esta diferencia se usa en Geocolor y en el Microfísica Nocturna RGB





Hielo

Liquido

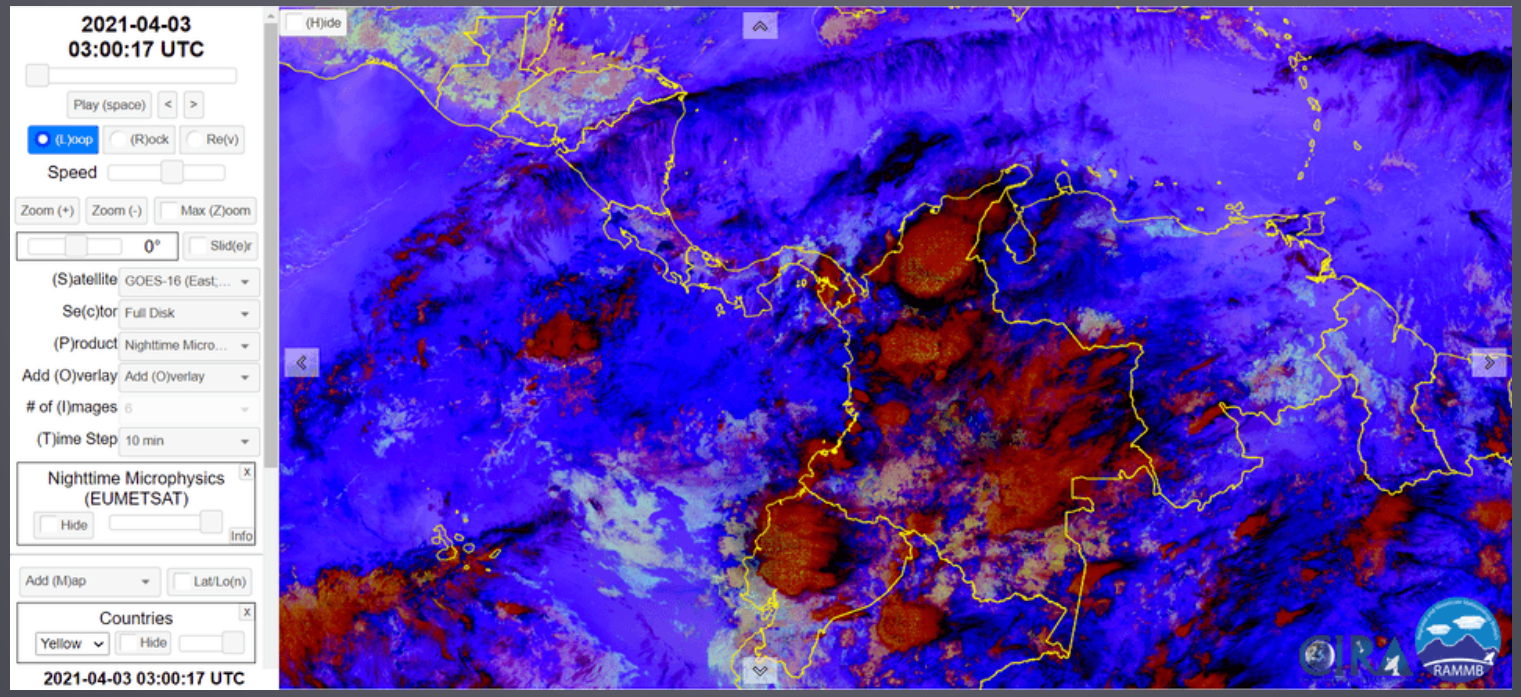
Microfísica Nocturna RGB

Color	Banda / Resta de bandas (µm)	Rango (mín. – máx.)	Se relaciona físicamente con…
R - rojo	12.3-10.3	-6.7 a 2.6 °C	Profundidad óptica
G - verde	10.3-3.9	-3.1 a 5.2 °C	Fase y tamaño de las partículas
B - azul	10.3	-29.6 a 19.5 °C	Temp. de la superficie

Nubes gruesas
Nubes delgadas

Nubes de agua
Nubes de hielo

Cálido
Frio



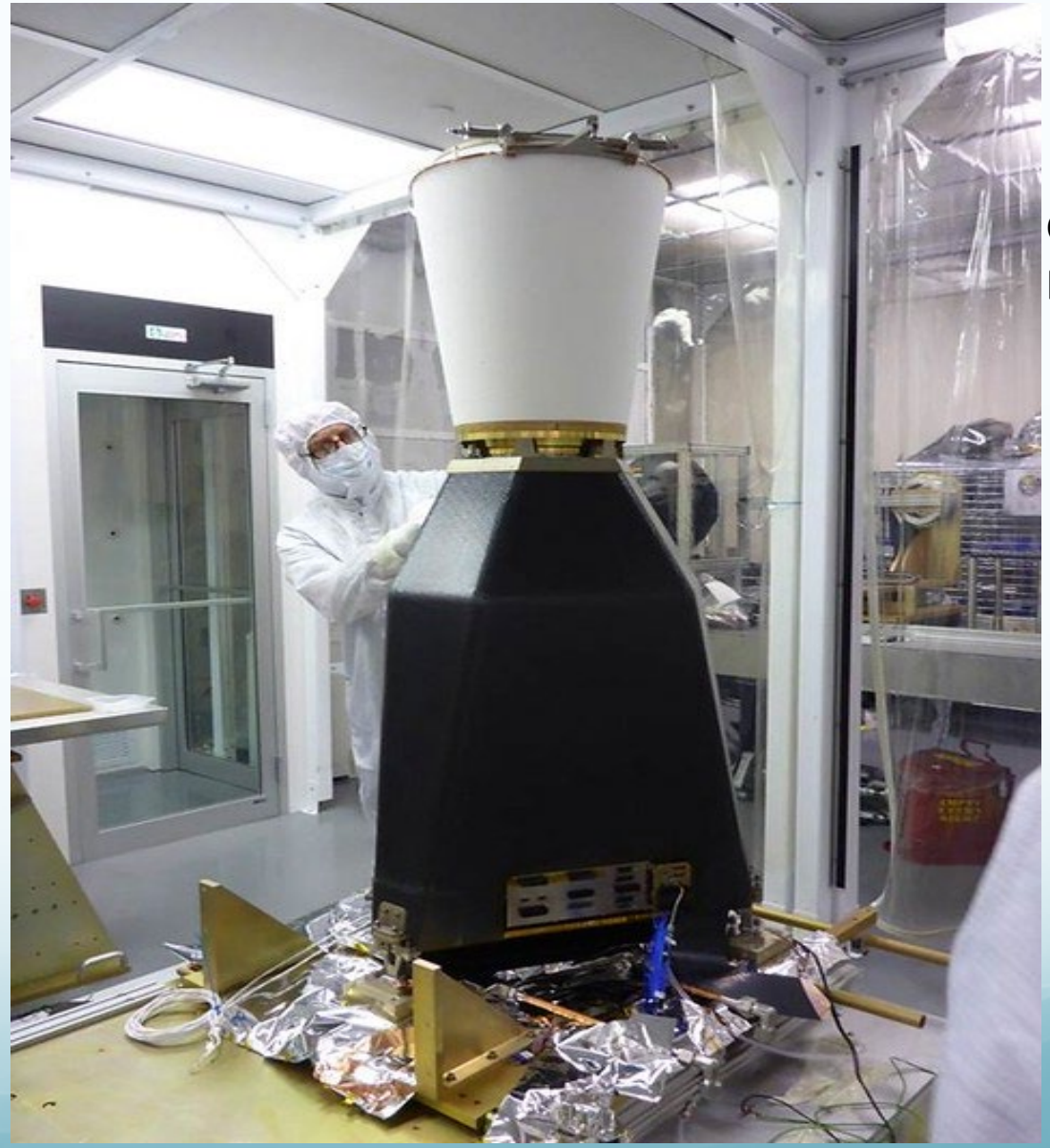
06

Mapeador Geoestacionario de Relámpago (GLM, siglas en ingles)

Basado en material preparado por
Dr. Jonathan Wynn Smith (UMD/ESSIC/CISESS)
Dr. Scott Rudlosky (NOAA/NESDIS/STAR)

Esquema de Entrenamiento de Mapeador Geoestacionario de Relámpago (GLM)

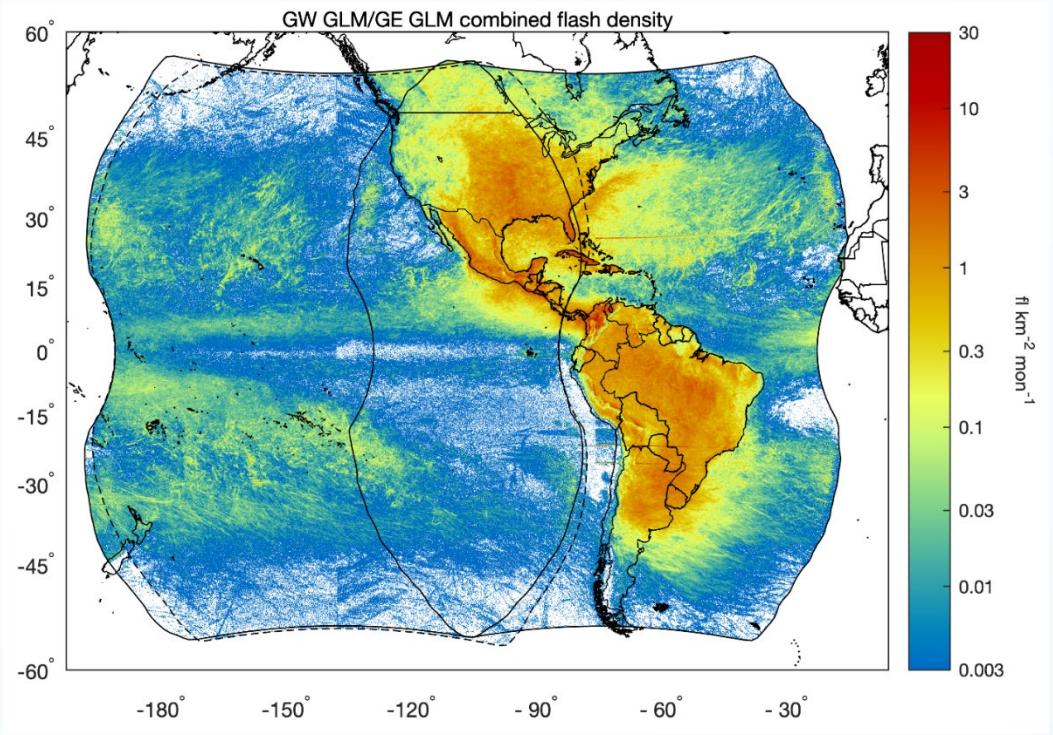
- Que es el Mapeador Geoestacionario de Relámpago (GLM)?
- Status de GLM
- Productos del Nivel 2 de GLM
- Productos de Grilla de GLM
  - Densidad de Extensión de Flash
  - Área Promedia de Flash
  - Área Mínima de Flash
  - Energía Óptica Total
- Donde se puede encontrar imágenes de GLM?



GLM
Pre-Launch

Mapeador Geoestacionario de Relámpago

- **GLM en GOES-16/-17 es una banda angosta, reproductor de imágenes casi infrarrojo (777.4 nm) que detecta cambios de brillo a 500 imágenes/segundo en relación a la imagen de fondo que se actualiza constantemente**
- **Resolución espacial de 8 km nadir/14 km borde**
- **Proporciona medidas continuas de rayos totales hasta 54° N/S**
- **Observa rayos totales – ambos rayos entre nubes y rayos de nube a tierra , no distingue entre los dos tipos**
- **Instrumento sometido a calibración y validación extendida**
- **Filtros eliminan eventos que no son rayos, dejando solamente los eventos que mas probablemente son rayos**

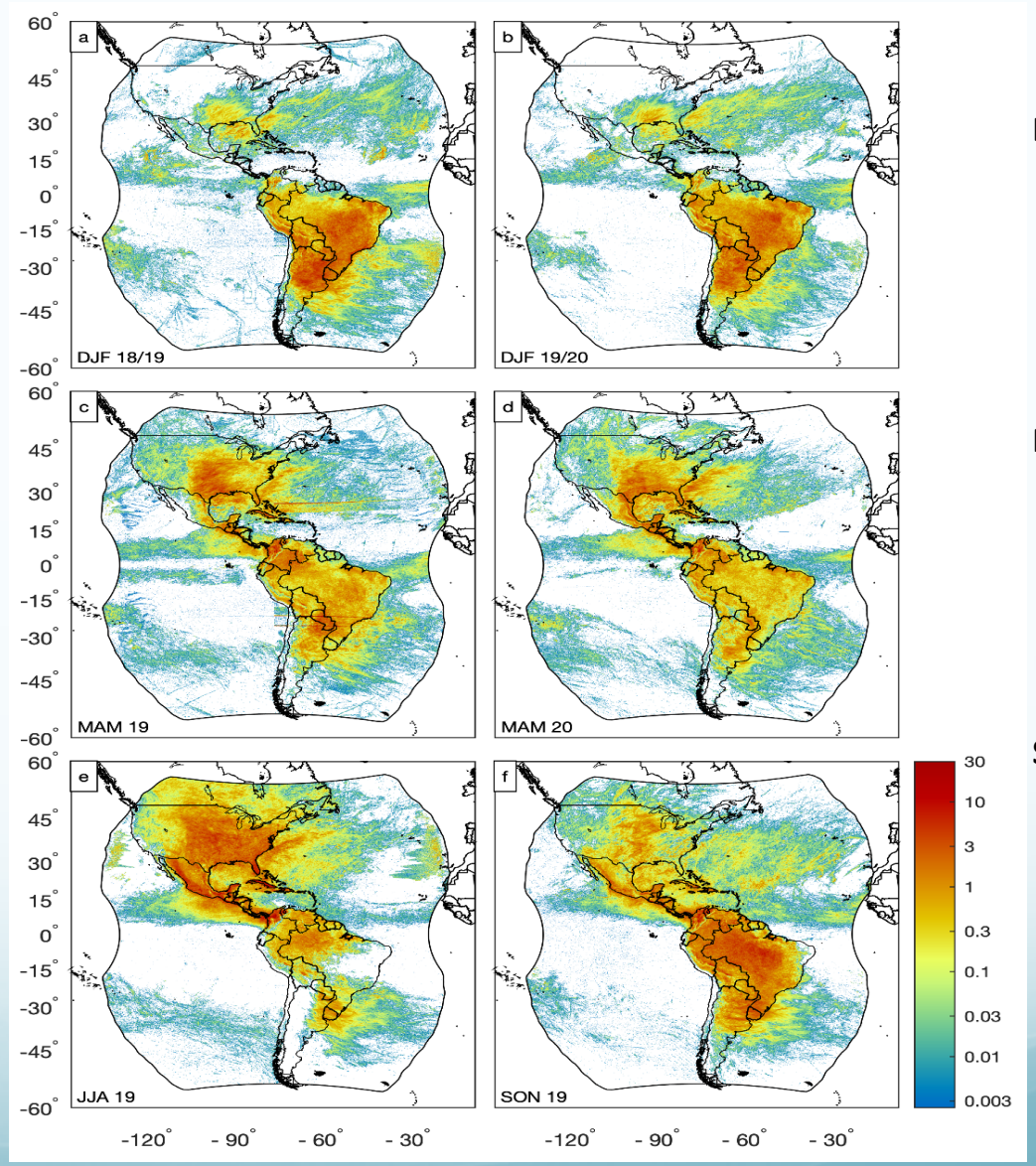


Rudlosky y Virts (2020, MWR, Bajo revisión)

Requisitos de Desempeño
Eficiencia de Detección > 70%, promediado durante 24 horas entre el dominio complete de GLM
Tasa de falsas alarmas de flash tiene que ser menos de 5% promediado durante 24 horas
Error de Navegacion dentro de ~1/2 pixel or ~4 km

Densidades de Flash Estacionales Detectadas por GLM

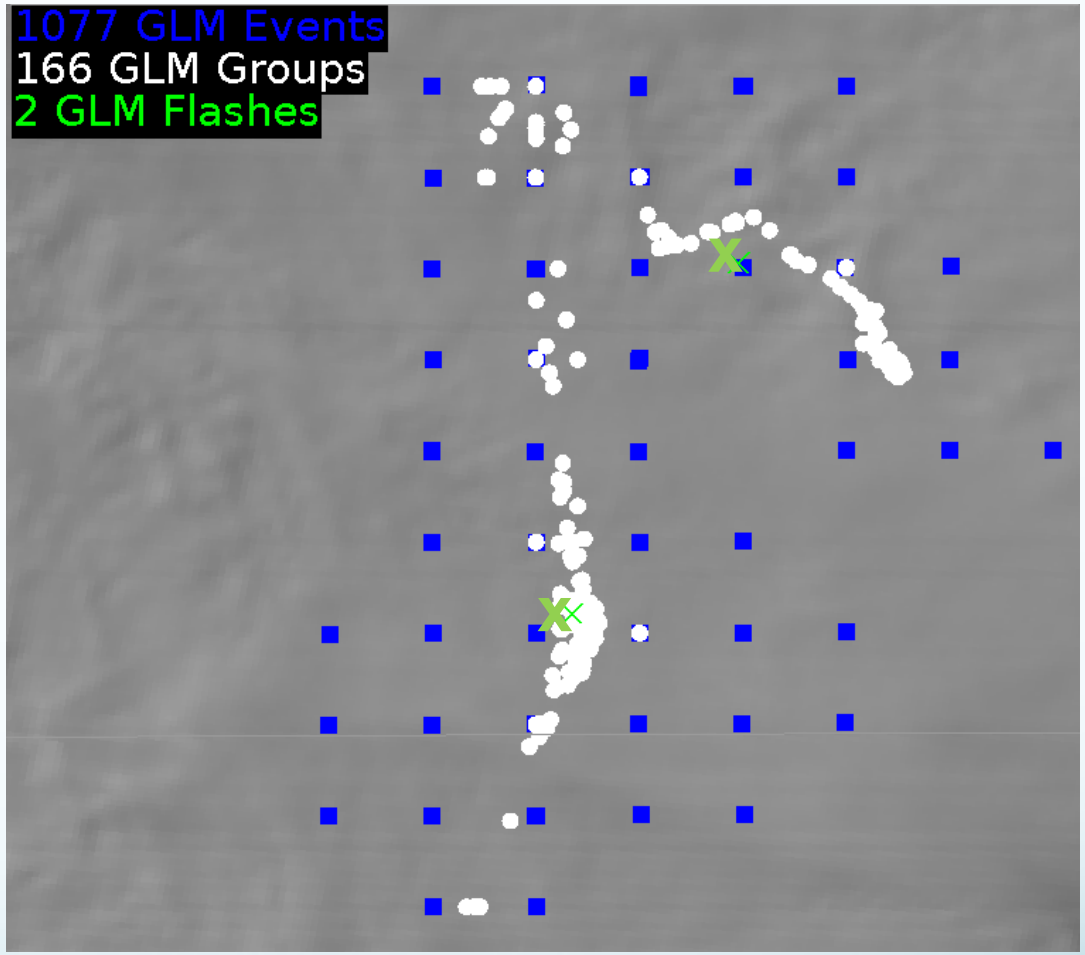
- Densidades de Flash GLM
- Unidad: cuenta de flash por kilómetros cuadrados por mes
- Actividad de la tasa flash disminuye sobre Costa Rica en Diciembre, Enero, Febrero (DEF)
  - 0.01-1 flash por kilómetros cuadrados por mes
- Actividad de la tasa flash alcanza su punto máximo sobre Costa Rica en Septiembre, Octubre, Noviembre (SON)
  - > 1 flash por kilómetros cuadrados por mes
- Marzo, Abril, Mayo (MAM)
- Junio, Julio, Agosto (JJA)



Rudlosky and Virts (2020, MWR, Under review)

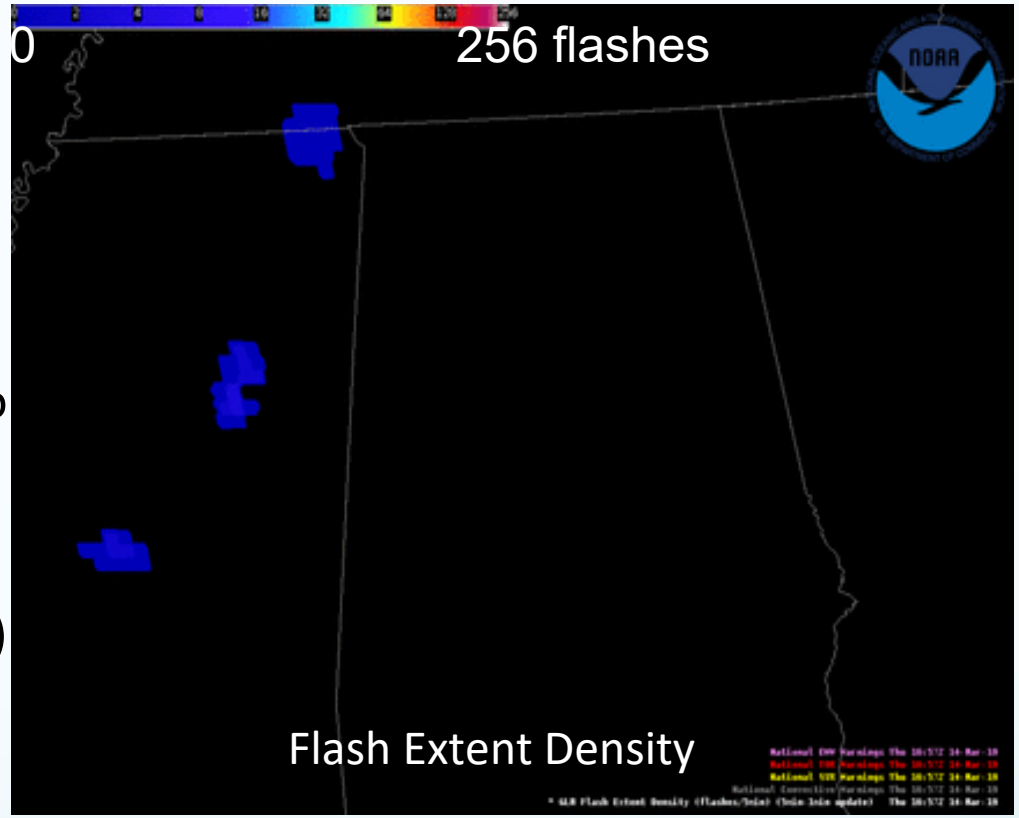
Definiciones de Nivel 2 de GLM

- **Evento:** ocurrencia de un solo pixel excediendo el umbral de detección durante cualquier fotograma de ~2 ms
  - Para asegurar que el evento es relámpago y no ruido, se descarta el primer evento
  - No hay procesamiento recursivo de pixeles
- **Grupo:** uno o mas eventos de GLM simultáneos observados en pixeles cercanos (diagonal/vecinos)
- **Flash:** uno o mas grupos secuenciales separados por menos de 330 ms y 16.5 km
- **Tasas de flash GLM suelen asociarse con corriente ascendientes y evolución de tormentas, y las ubicaciones de los eventos GLM mejor demuestran el extensión espacial.**



Productos de Grilla GLM

- Datos de GLM Nivel 2 data (eventos, grupos, y flashes) se producen como puntos en una grilla de latitud/longitud, resultando en una perdida de información sobre la extensión espacial
- Productos de grilla GLM restauran y difunden información sobre la huella espacial mientras reduce el tamaño del archivo
- Productos de grilla GLM involucren la re-navegación de la latitud/longitud del evento a la grilla fija de 2x2 km Base de Generador de Imágenes (Advanced Baseline Imager fixed grid)
- La amplia cobertura espacial y actualizaciones temporales rápidas sugieren que los productos GLM proporcionaran un gran valor a meteorólogos
- Productos de grilla fueron creados por Eric Bruning, Ph.D. de Texas Tech University

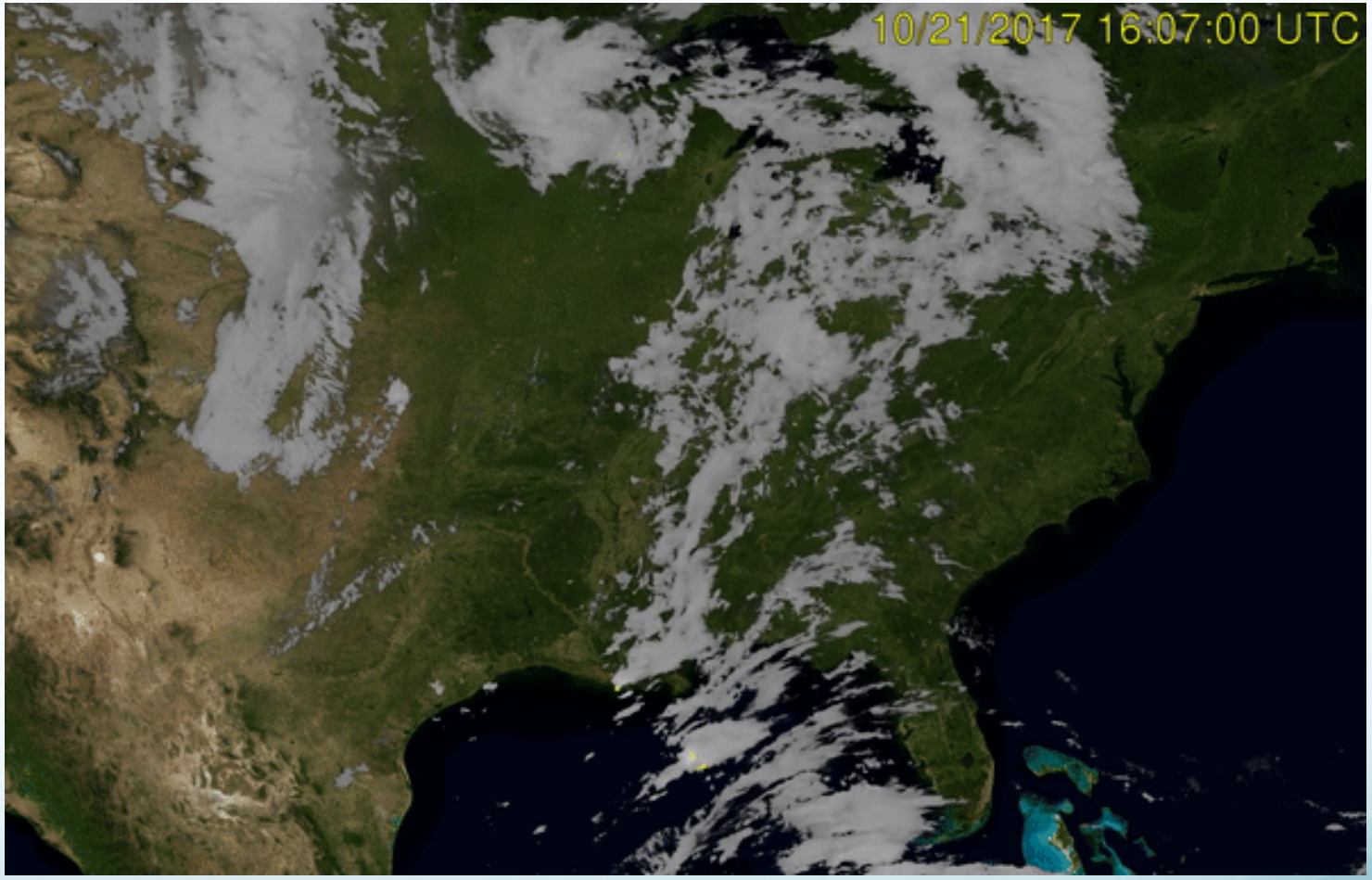


https://github.com/deeplycloudy/glmtools

Para mayor explicación de la creación de grillas: Bruning et al. (2020), Journal of Geophysical Research manuscript - *Meteorological Imagery for the Geostationary Lightning Mapper*

Aplicaciones de GLM Permiten a los Pronosticadores A...

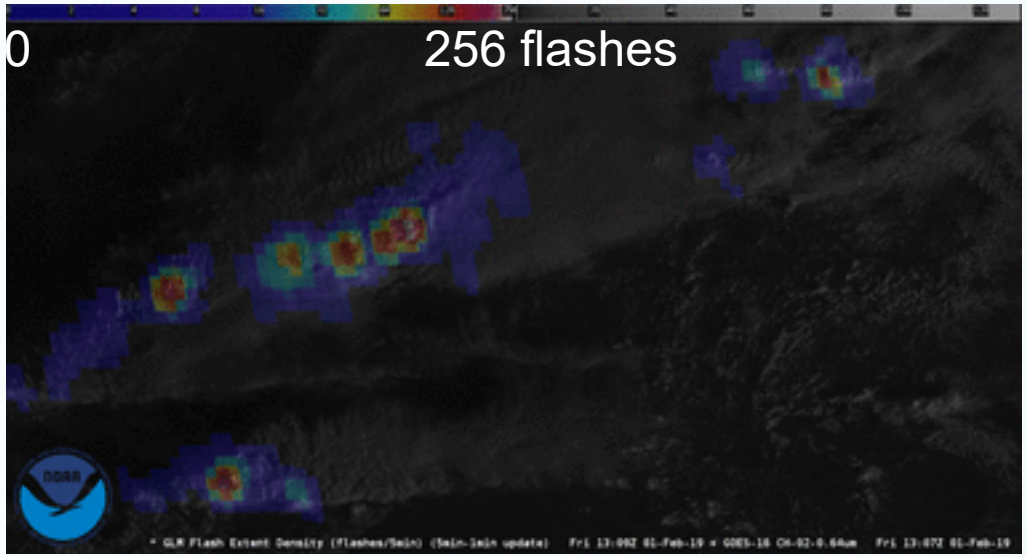
- Rastrear convección incrustada
- Identificar tormentas que se están fortaleciendo o debilitando
- Observar extensión del área y la propagación del flash a lo largo del tiempo
- Monitorear modo convectivo y evolución de tormenta
- Caracterizar tormentas al hacer la transición mar adentro
- Obtener información sobre los cambios de intensidad de ciclones tropicales

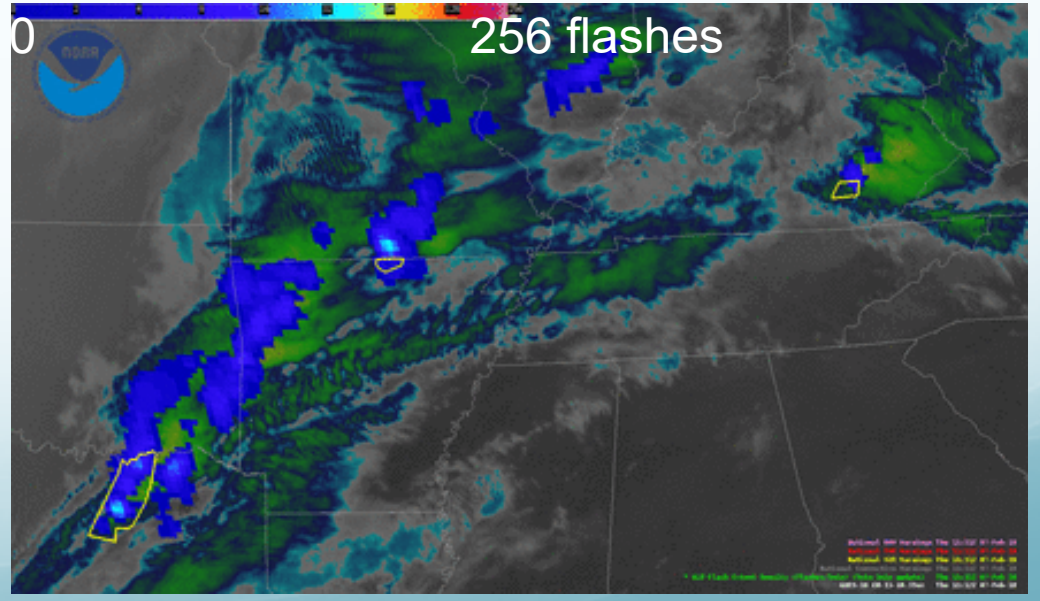


Above: Flashes GLM (amarillo) sobre el la imagen infrarroja Advanced Baseline Imager para 22 Octubre 2017 para los Estados Unidos contiguo

Densidad de Extensión de Flash

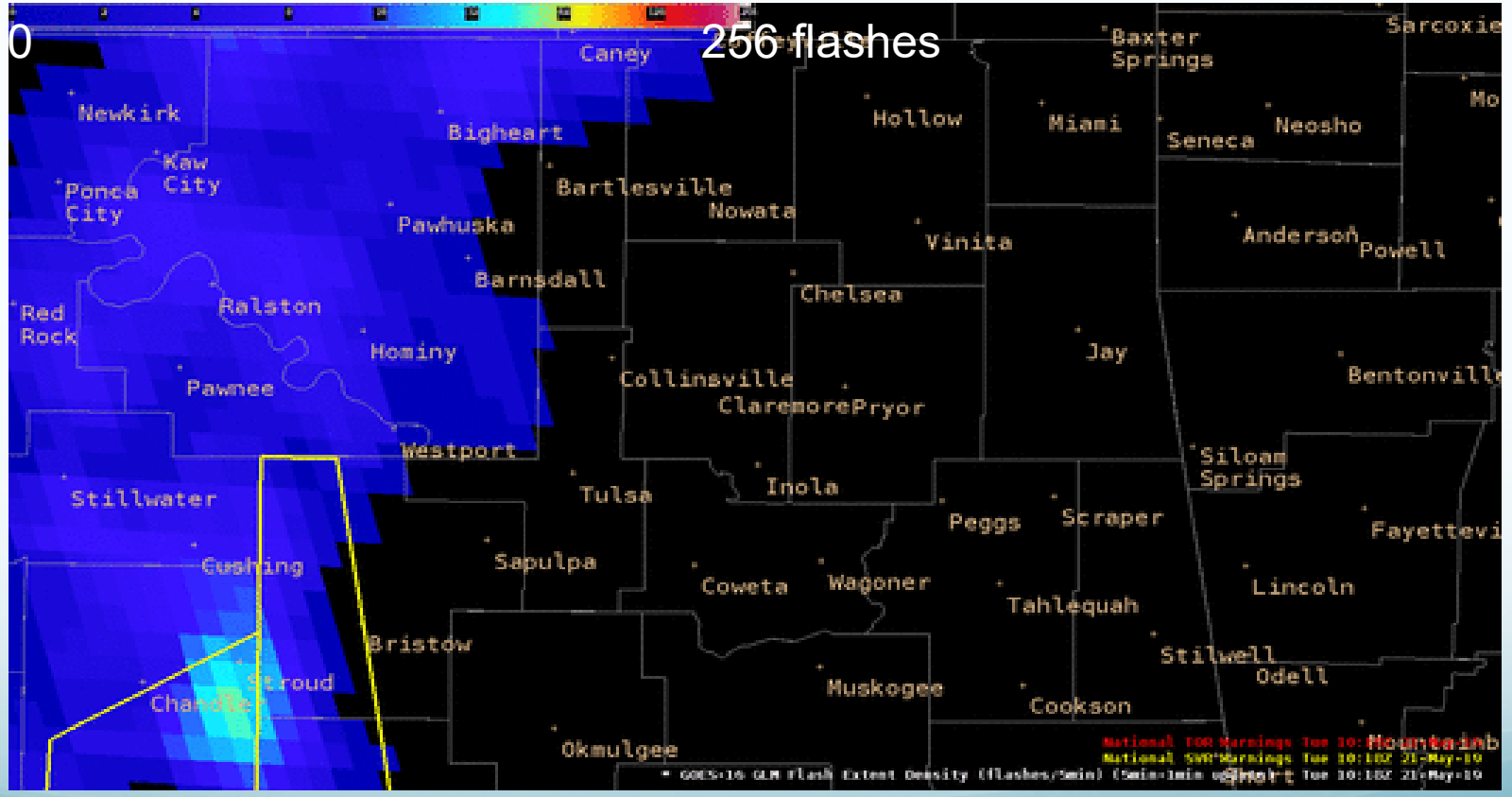
- El numero de flash ocurren entre la celda de grilla durante un periodo de tiempo determinado
- Muchos anos de investigación y demostraciones operacionales demuestran que el producto de relámpago total preferido es el de Densidad de Extensión de Flash
- Densidad de Extensión de Flash mejor representa la cantidad de flashes GLM y el alcance de los eventos GLM
- Mas relámpago frecuente indica recarga fuerte en tormentas que ocurren con corrientes ascendientes fuertes y persistentes
- Las tendencias de relámpagos responded rápidamente a las condiciones cambiantes de los corrientes ascendientes



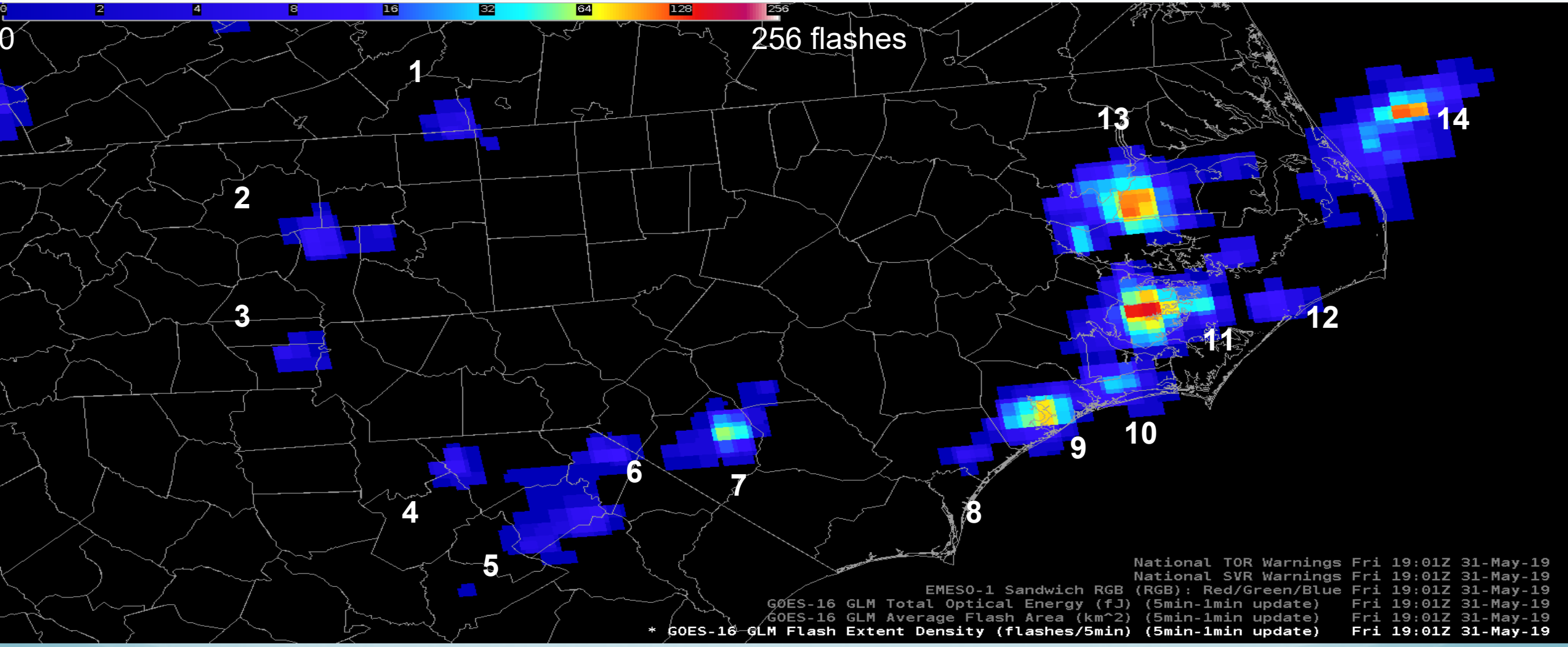


Tendencias de Relámpago Indican Evolución de Corrientes Ascendentes

- **Cambios repentinos en la frecuencia total de relámpago y la ubicación de la intensidad máxima coinciden con que la tormenta se vuelva propensa a tornados**

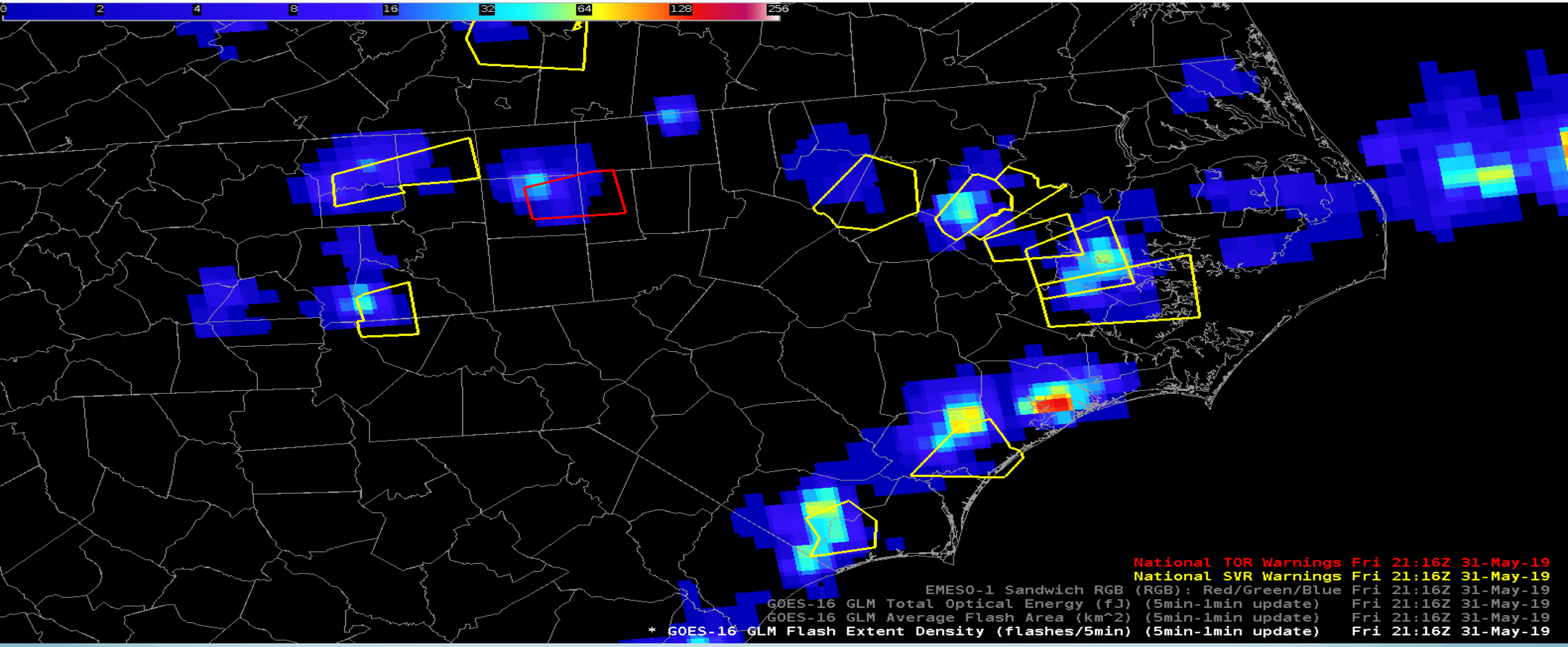


Diagnosticando la Severidad de Tormentas



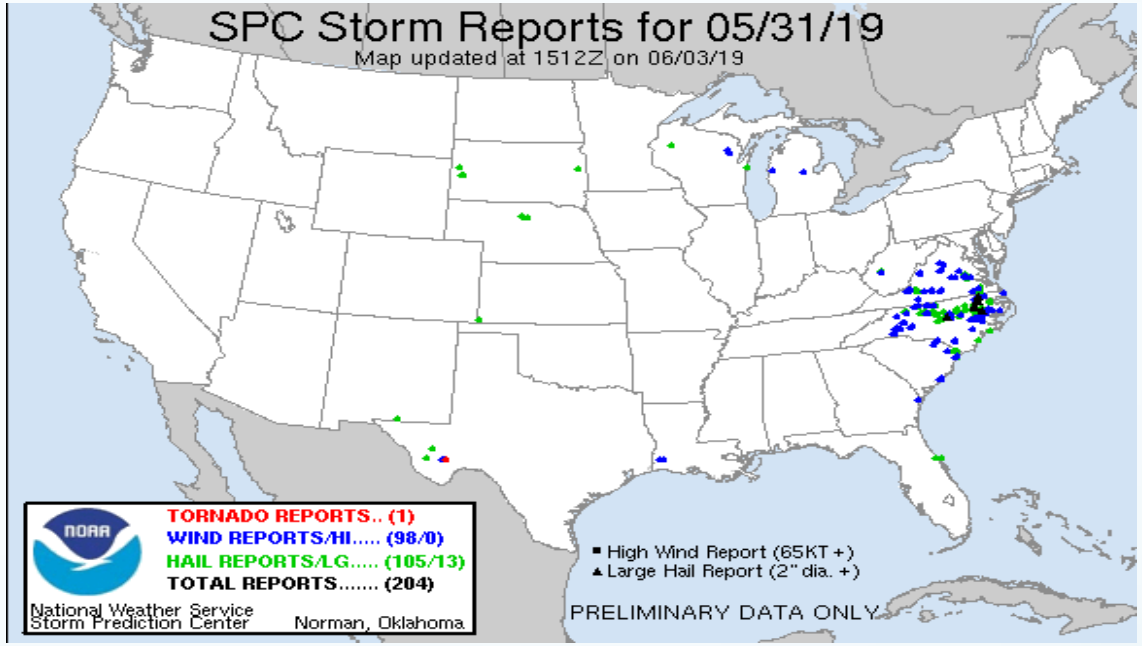
- Cuales tormentas necesitan mas atención en este momento?
- Cual de la 14 celdas se volverá severa (para advertencia de tormentas severas o tornado)?

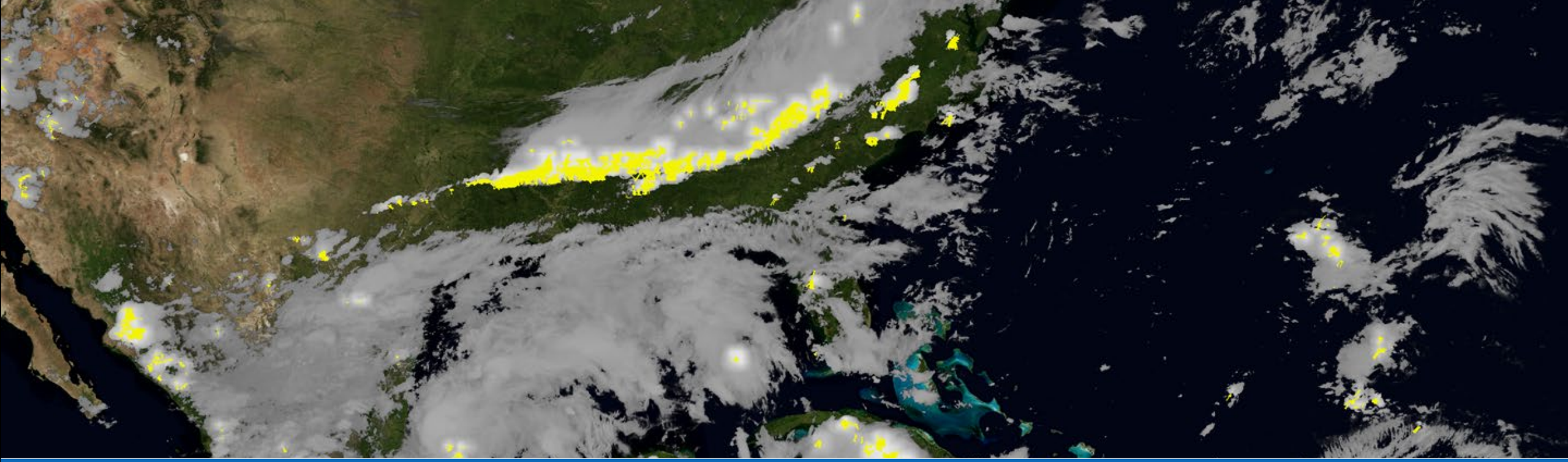
Alertas de Tormentas



Sinopsis de Caso

- 9 tormentas fueron o se hicieron severas
- La mayoría del relámpago se encuentra en el cuadrante noreste a 21 UTC
- Tormentas 11 y 13 interfieren destructivamente y constructivamente
  - Interferencia del flujo de salida de la tormenta disminuye inicialmente el relámpago en ambas tormentas
  - Tormentas que se unen luego pasa por una re-intensificación fuerte
  - Eventualmente extiende la línea convectiva, que es responsable por la mayoría de relámpago a

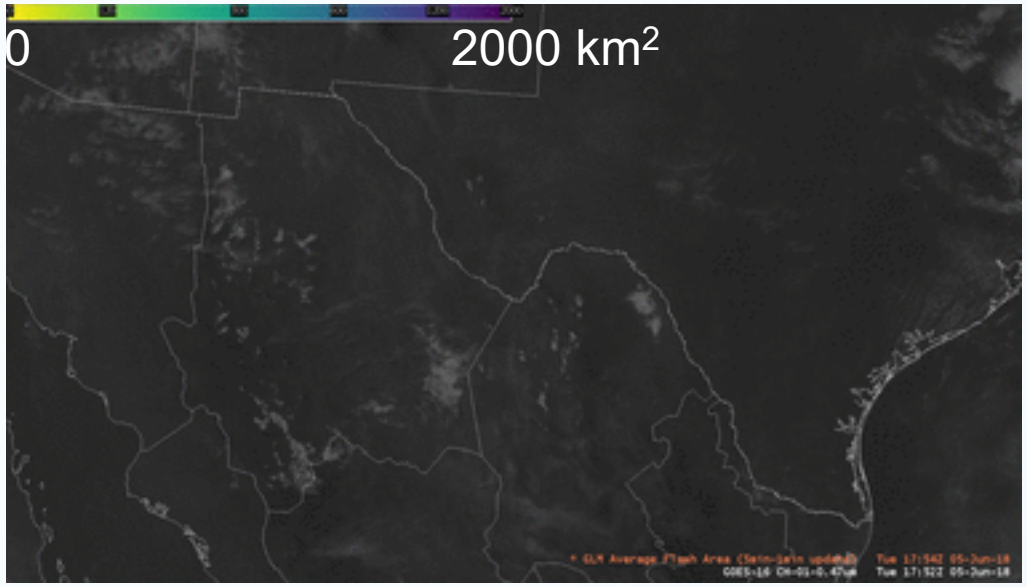


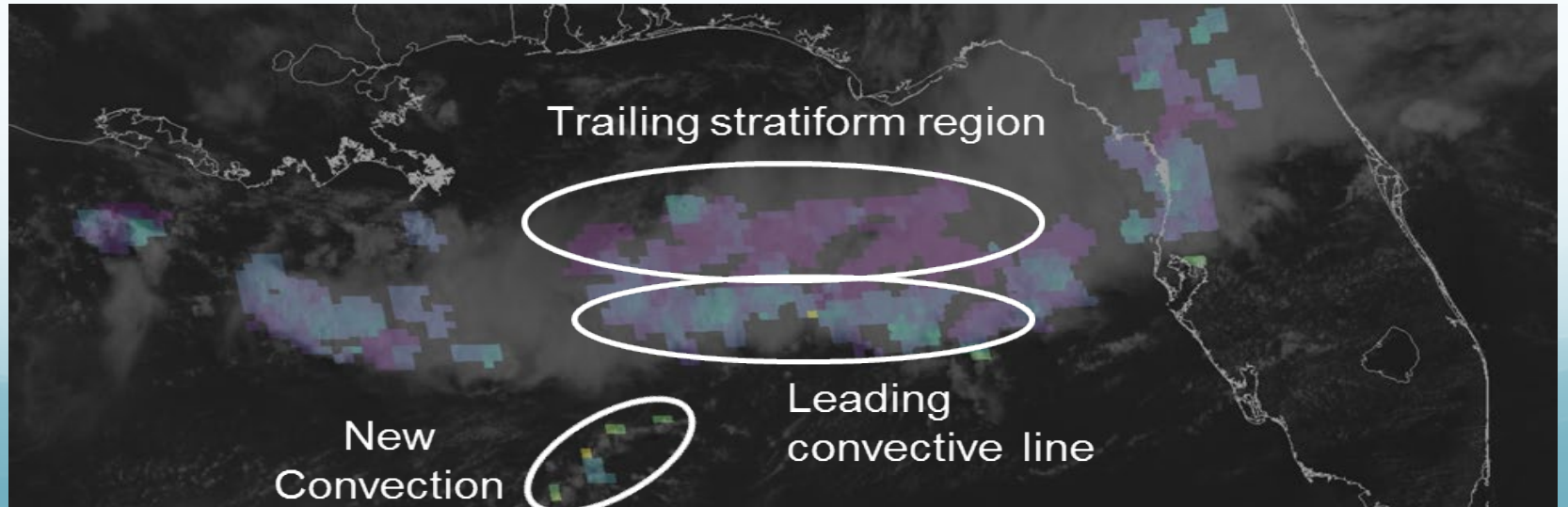


Área de Flash Promedio

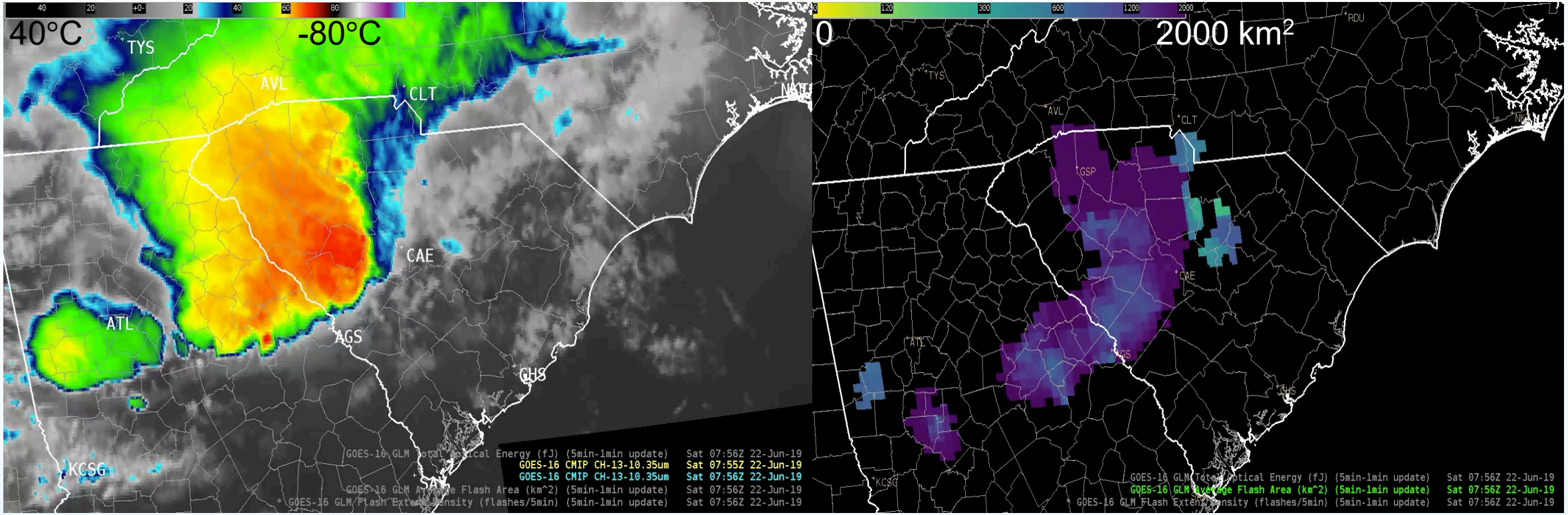
Área de Flash Promedio

- Área promedia de todos los flashes GLM que coinciden espacialmente con cada celda de grilla de 2x2 km en un periodo de tiempo determinado
- Pixeles amarillos resaltan los flashes mas pequeños y tempranos en casos de convección aislada y convección linear
- Flashes mas grandes son mas comunes en regiones de estratiformes/yunque y en tormentas en decadencia
- El desplazamiento de flashes estratiformes/yunque puede describir el modo convectivo y de la amenaza severa principal (ej. tornado/granizo, lluvias fuertes)





Imágenes Infrarrojo y Área de Flash Promedio

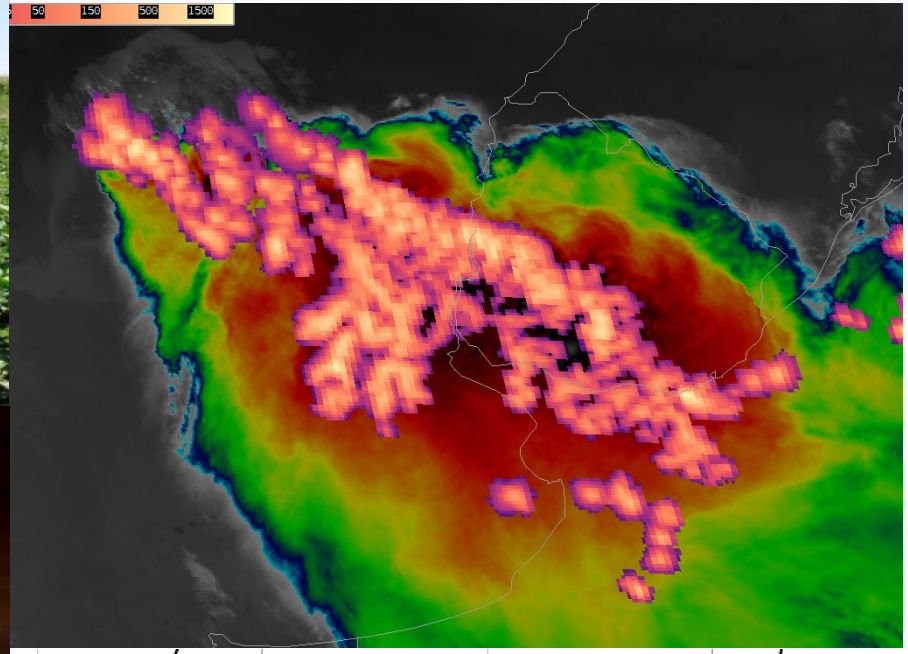


- **Un sistema convectivo de mesoescala debilitándose en la mañana de 22 Junio 2019 representado por la imagen IR (Canal 13)**
- **Línea de convección principal con flashes grandes (morado) sobre la región estratiforme**
- **Los flashes grandes dominantes son emblemáticos en un sistema que se esta debilitando**

Granizo Grande/Evento de Inundaciones Sobre Centro de Argentina 13-14 Diciembre 2018



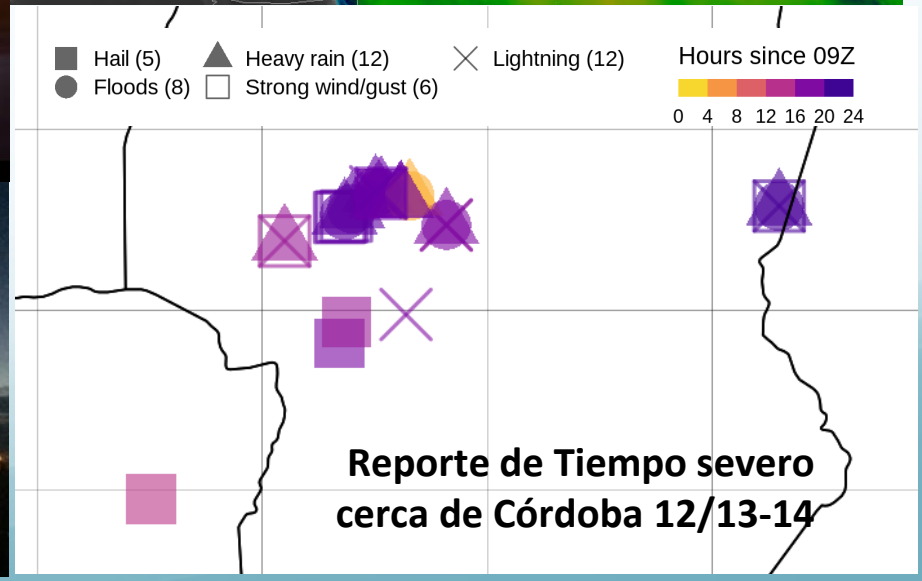












Que tan grandes son los flash GLM mas grandes durante la fase de Sistema Convectivo de Mesoescala (ej. de 14 Diciembre 2018)?

A. 1000-2000 km^2

B. 2000-3000 km^2

C. 3000-5000 km^2

D. 5000-10000 km^2

E. Mas que 10000 km^2

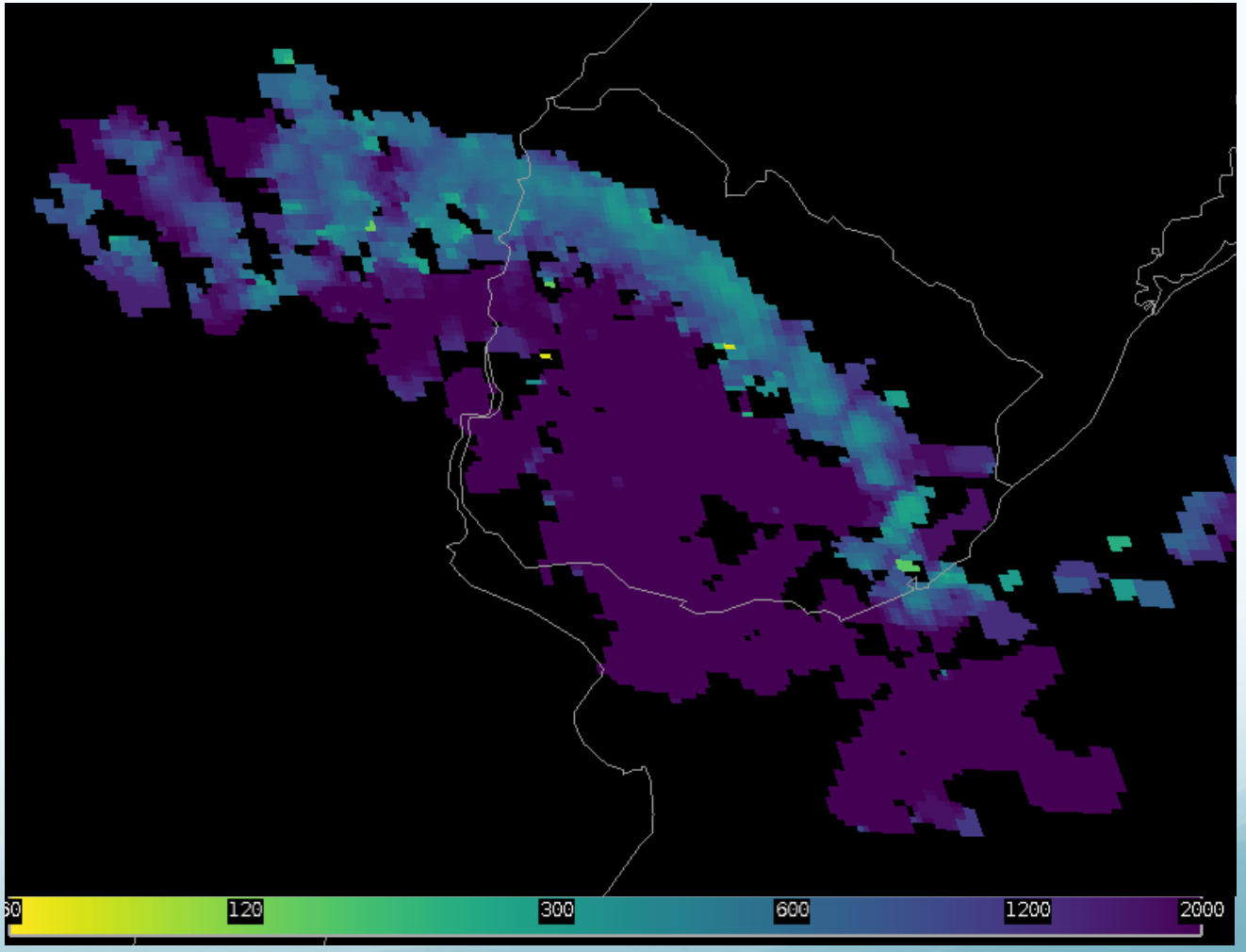
Regiones moradas indican una Área Promedia de Flash > 1500 km^2

Pista:

San Jose, Costa Rica: 45 km^2

Costa Rica: 51100 km^2

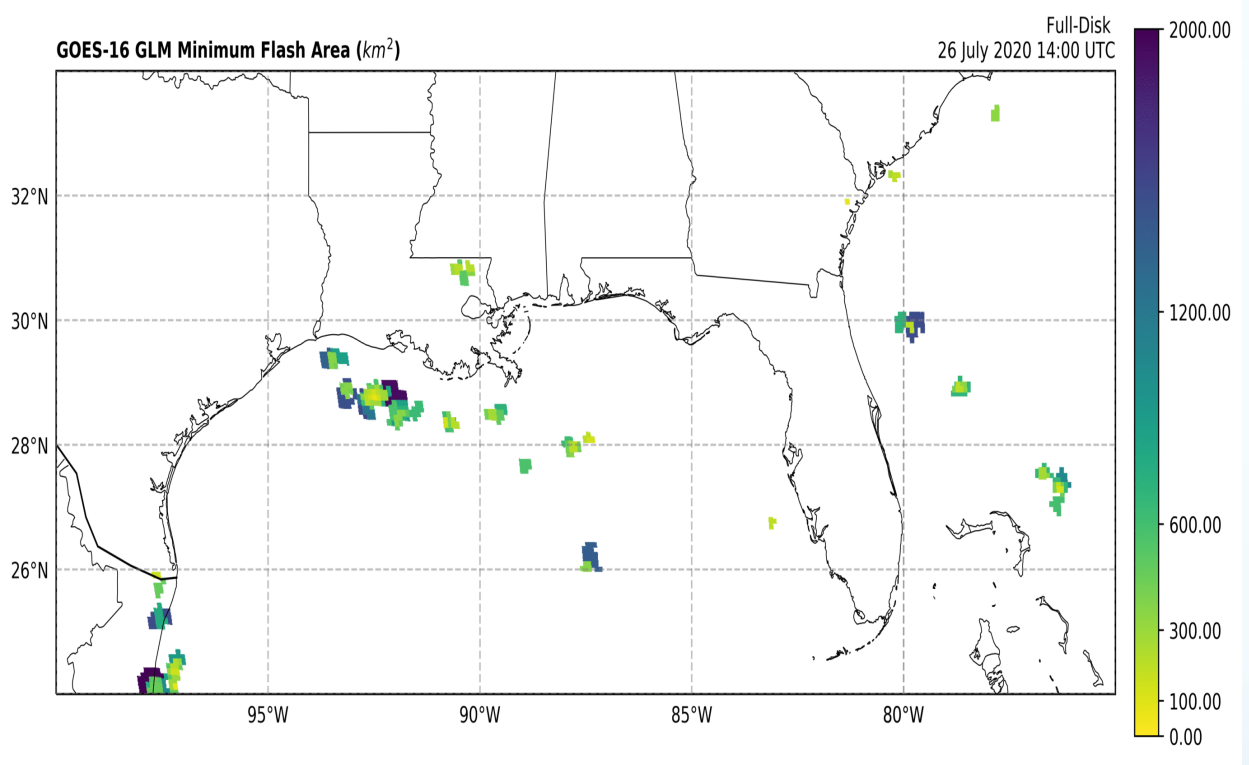
Uruguay: 176215 km^2



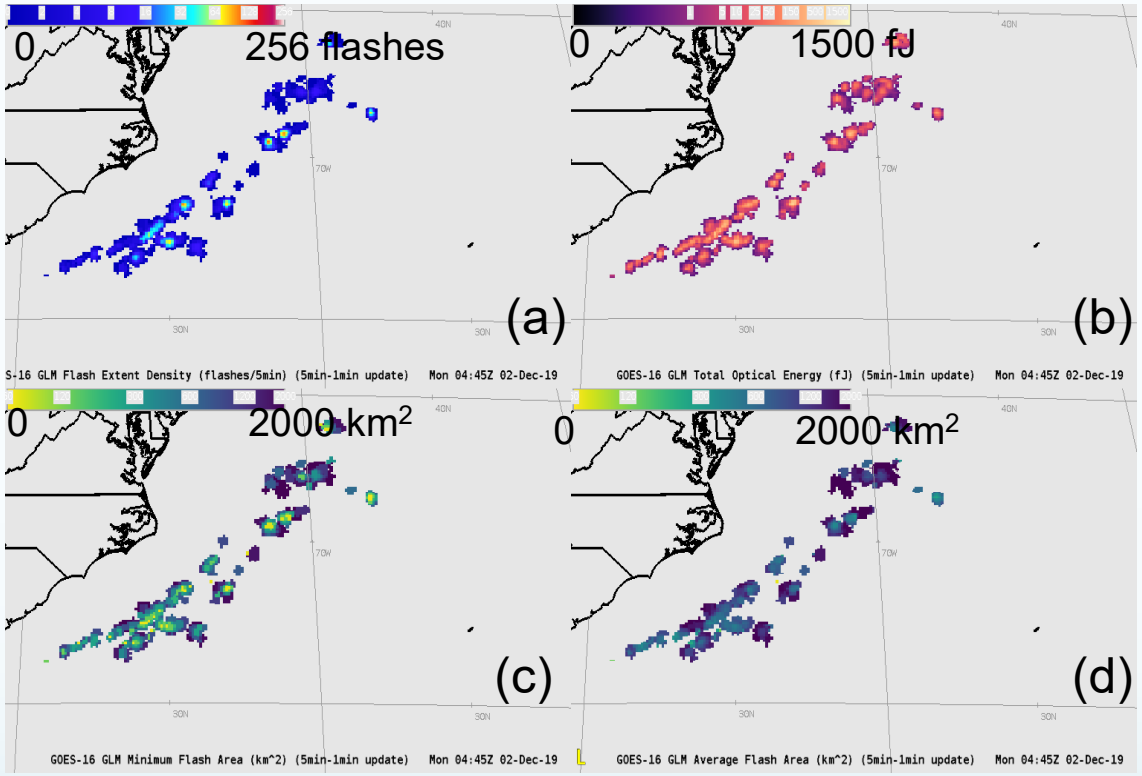
0 2000 km^2

Área Mínima de Flash

- Área mínima de todos los flashes GLM que coinciden espacialmente con cada celda de grilla de 2x2 km sobre un periodo de tiempo determinado
- Identificación mejorada de flashes pequeños
- Pronosticadores los usan para determinar la iniciación convectiva



Área Promedia de Flash v. Área Mínima de Flash

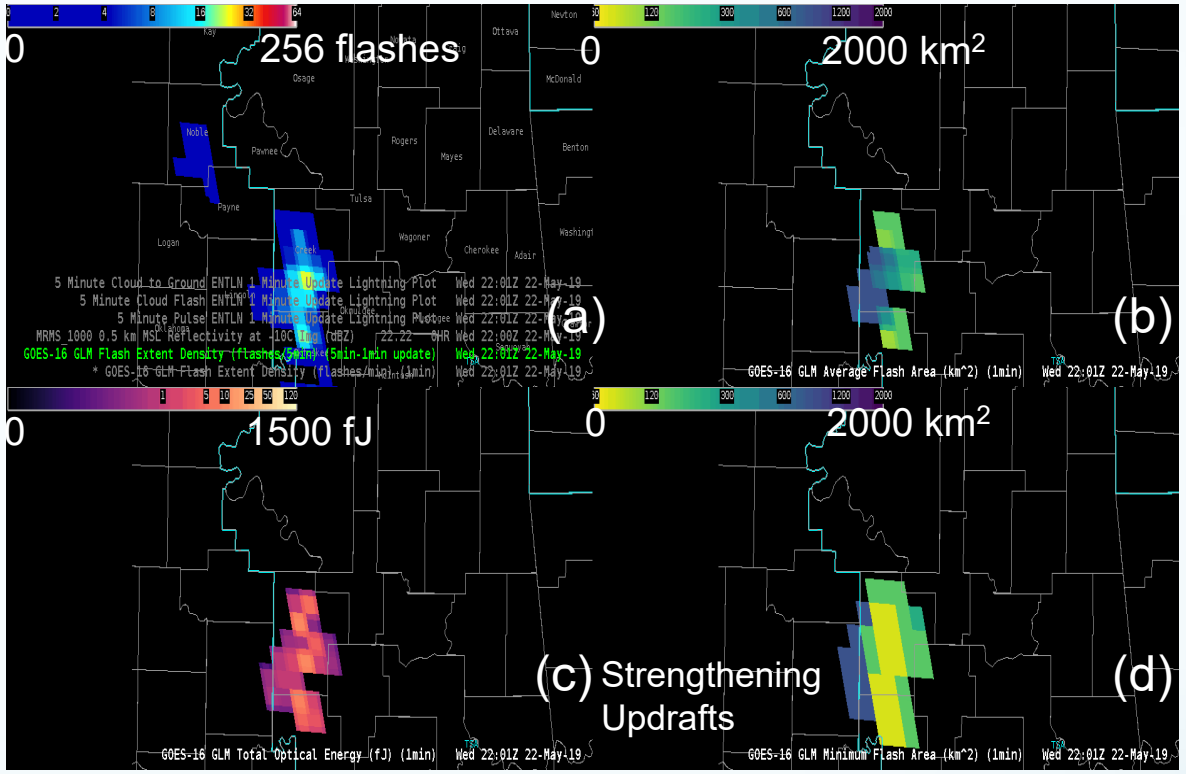


Arriba: a. Densidad de Extensión de Flash, b. Energía Óptica Total, **c. Área mínima de Flash,** d. Área Promedia de Flash

Área Promedia de Flash v. Área Mínima de Flash

- **22 Mayo 2019 Blog de Banco de Pruebas de Tiempo Peligroso**

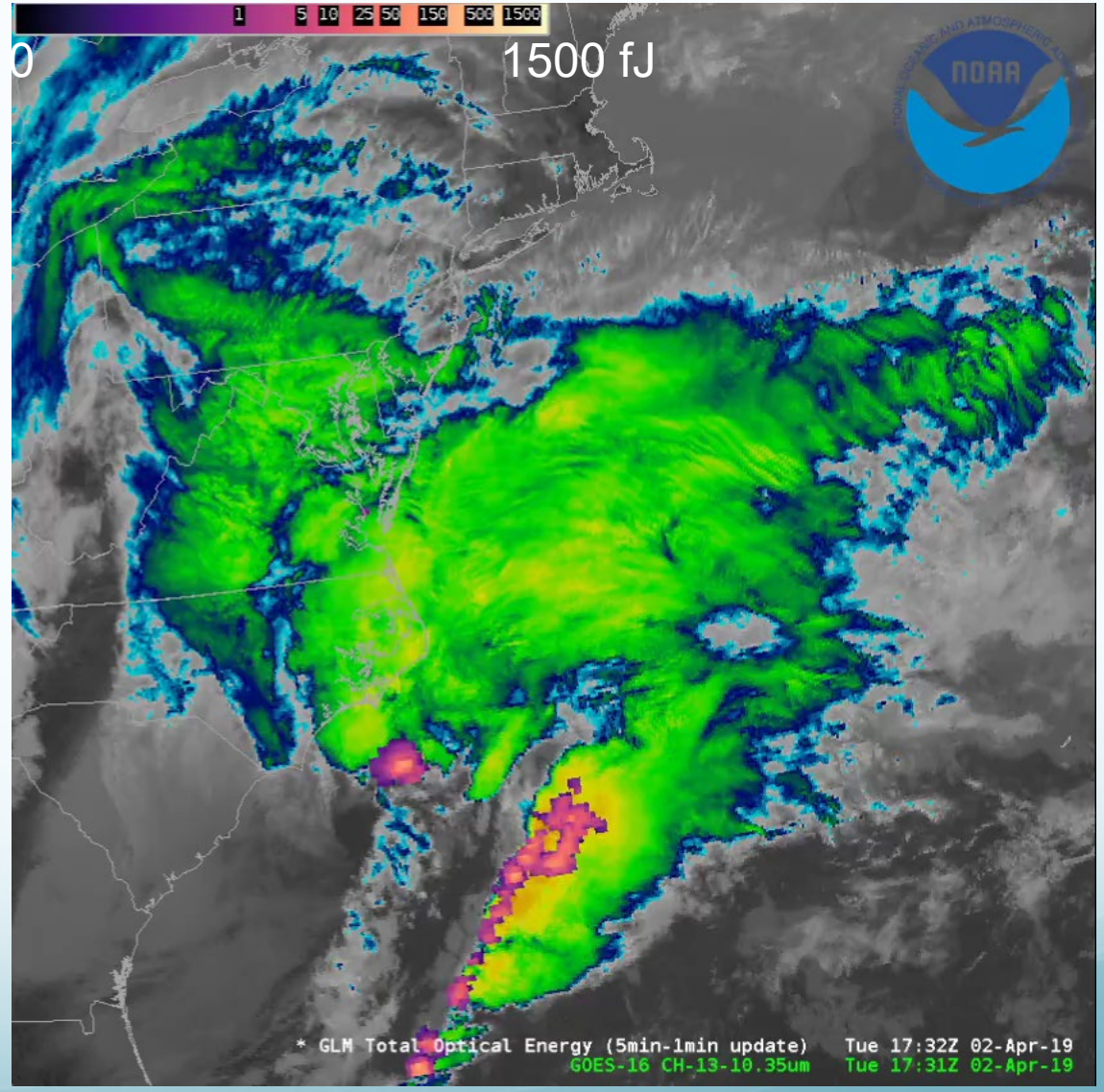
"Un bucle de productos GLM, en particular, la Densidad de Extensión de Flash y el Flash Mínimo (arriba a la izquierda y abajo a la derecha, respectivamente), parecen haber representado el fortalecimiento de las corrientes ascendentes en el área de Tulsa. En particular, observe el aumento en la Densidad de Extensión de Flash que va de los condados de Creek a Osage, así como el área sobre el NE del condado de Rogers. Los aumentos en la Densidad de Extensión de Flash coinciden con las áreas mínimas de Flash."



Arriba: a. Densidad de Extensión de Flash, b. Área Promedia de Flash, c. Energía Óptica Total, d. Área mínima de Flash

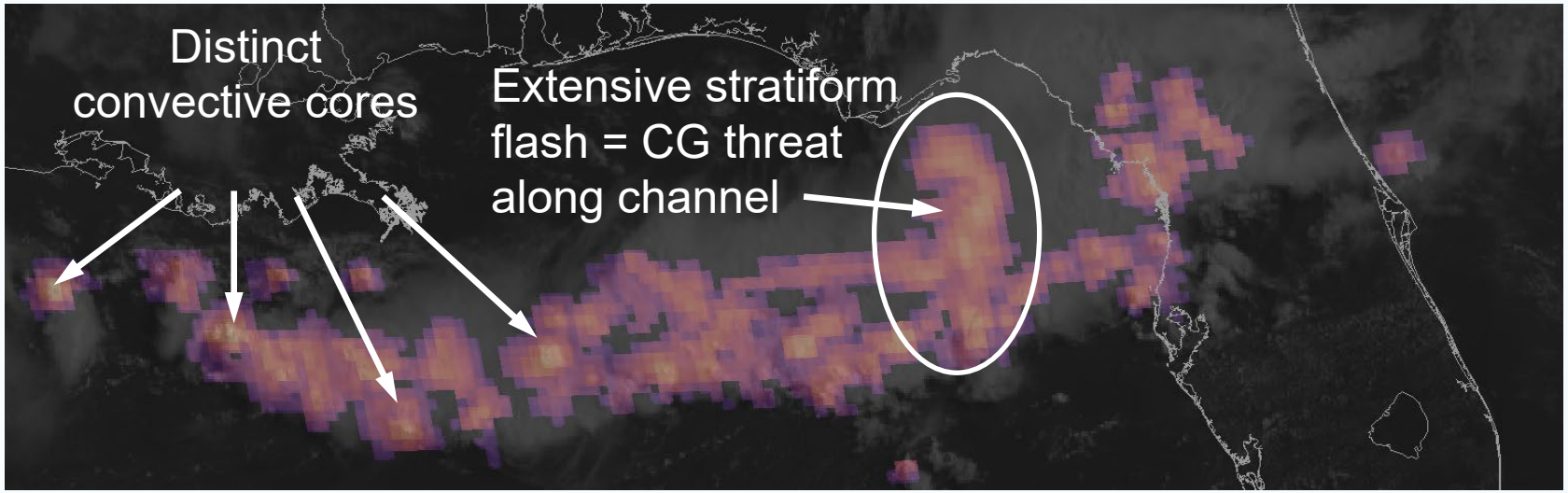
Energía Óptica Total

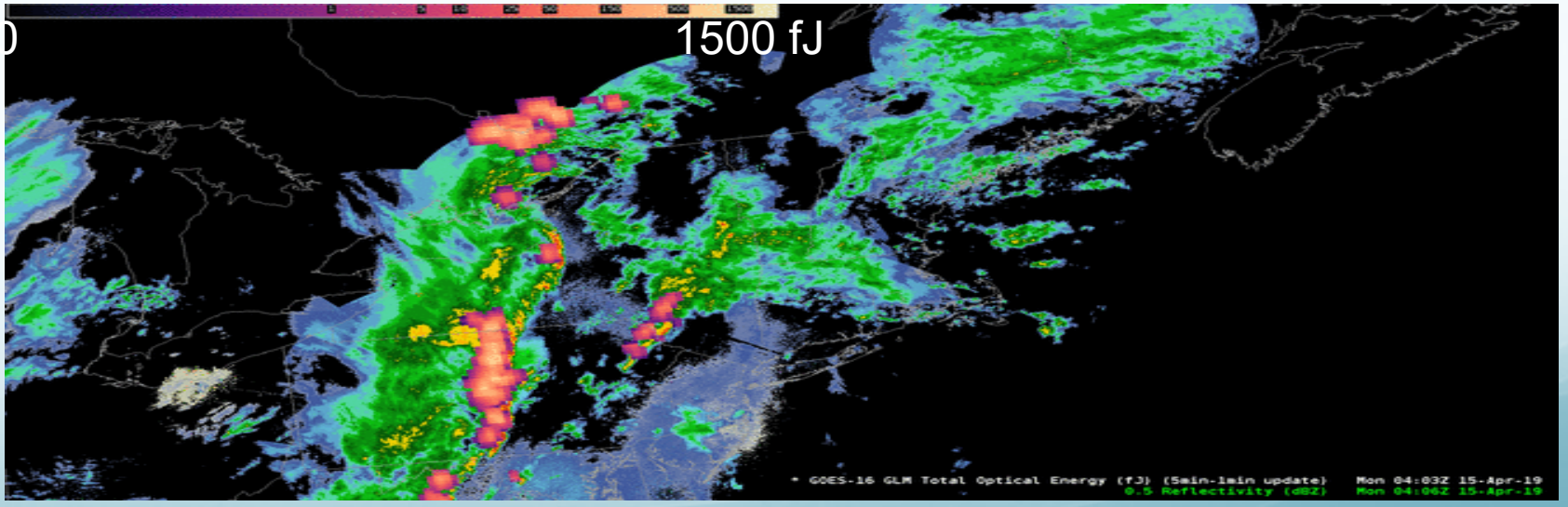
- **Suma de toda la energía óptica observada entre cada celda de grilla en un periodo de tiempo determinado**
- **Unidad de femptojolios (10^{-15} J) que van desde los valores decimales para los flashes mas tenues hasta miles para regiones con flashes frecuentes y brillantes**
- **Una medida fundamental de un sensor óptica, muestra una relación intuitiva entre las emisiones ópticas, la frecuencia y la intensidad de los rayos.**



Regiones Brillantes en la Energia Optical Total Indica…

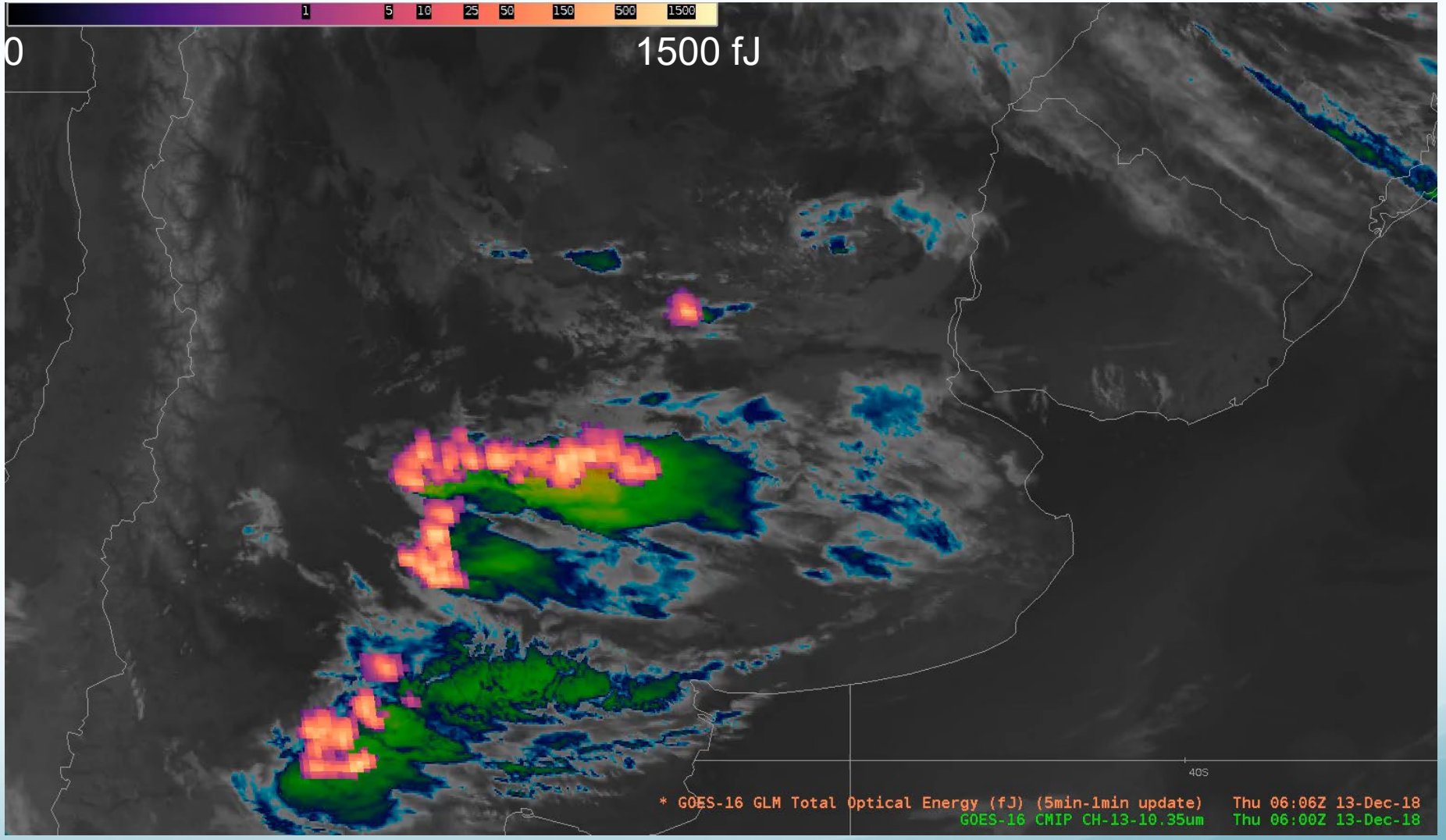
- Núcleos convectivos mas energéticos (fortaleciendo/ debilitando la convección)
- Representa celdas individuales propagándose a lo largo/a través de líneas convectivas
- Relámpagos se canalizan entre flashes extensos





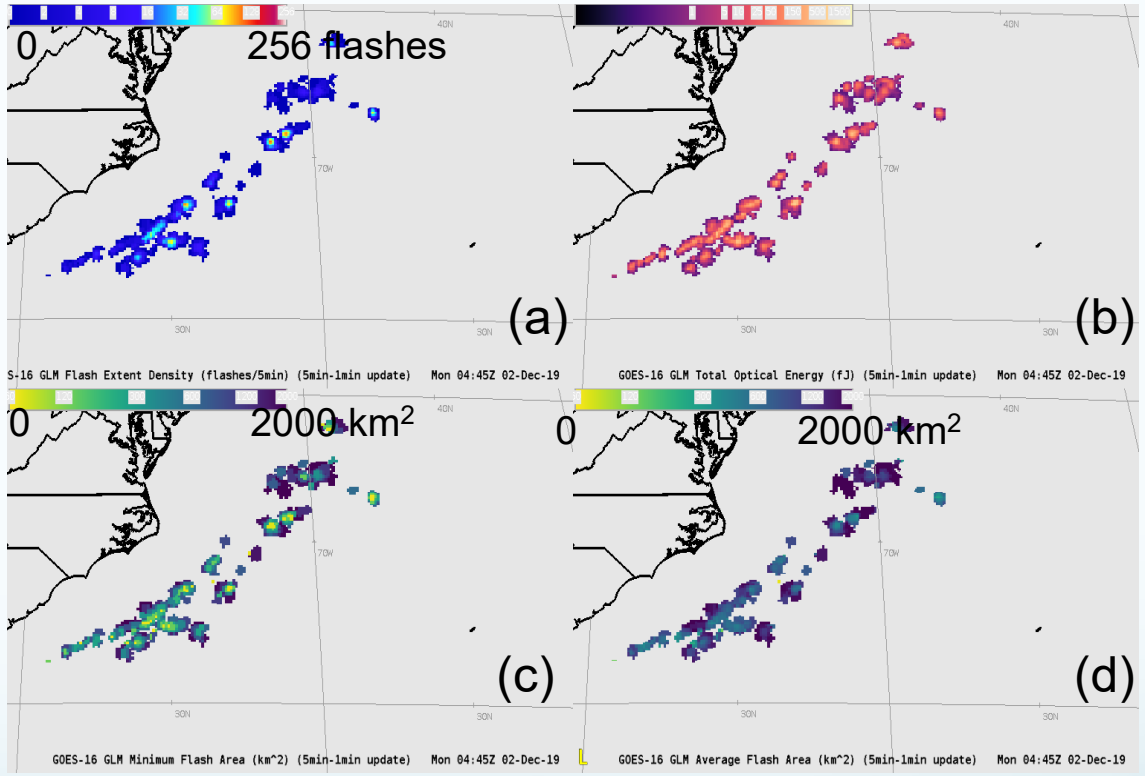
Imágenes Infrarrojas de Energía Óptica Total GLM y Generador Avanzado de Imagines de Base

- **Energía Óptica Total representa directamente las observaciones ópticas**
- **Identifica el fortalecimiento y debilitación de tormentas**
- **Analiza la amenaza de rayos de nube-a-tierra**



Cuales productos GLM de grilla le interesan explorar para aplicaciones de nowcasting?

A. FED
B. AFA
C. MFA
D. TOE
E. FED y MFA
F. FED y AFA
G. FED y TOE
H. FED, AFA, MFA, y TOE
I. Combinación Diferente



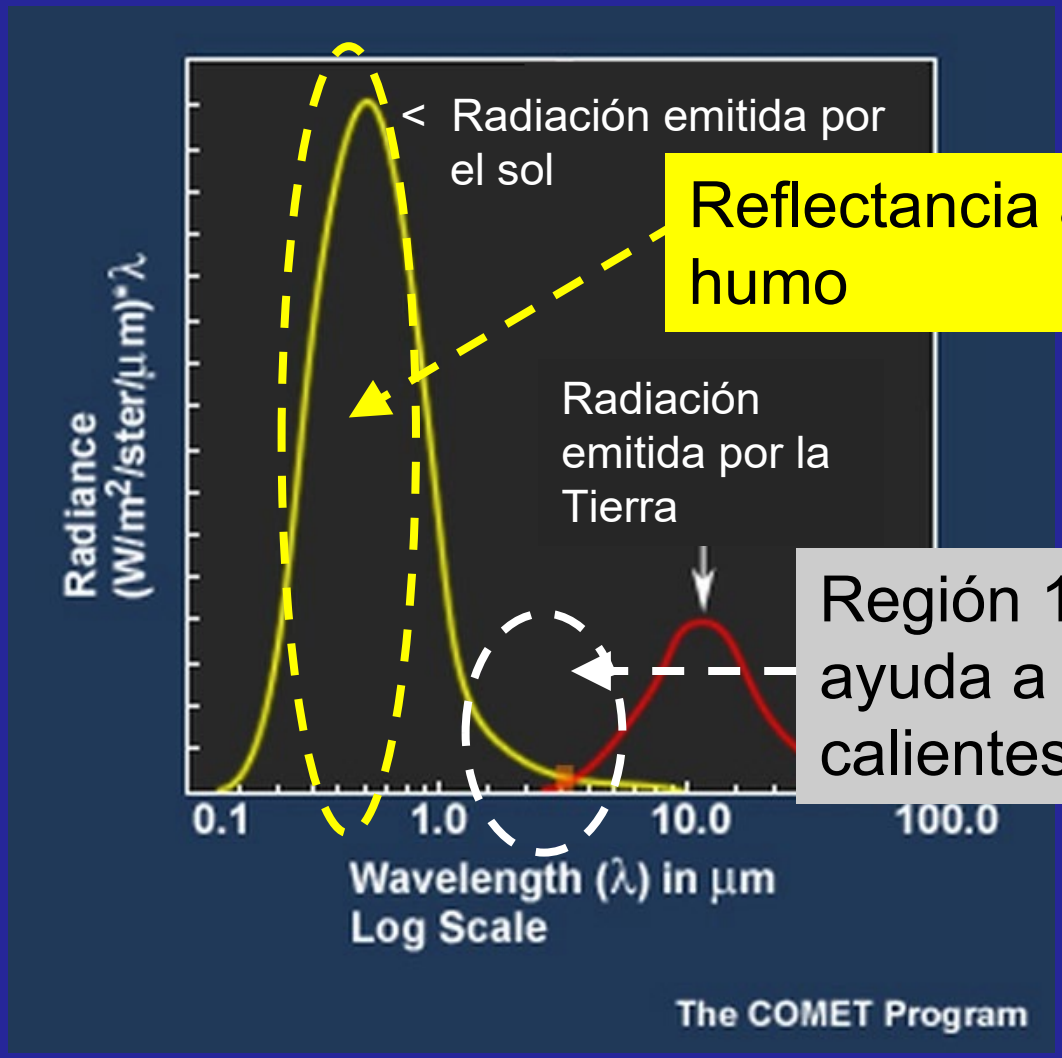
Arriba: a. Densidad de Extensión de Flash, b. Energía Óptica Total, **c. Área mínima de Flash**, d. Área Promedia de Flash

07

Detección Satelital de Incendios, Humo, y Erupciones Volcánicas

Detección de Incendios: Puntos Calientes y Humo

INCENDIOS

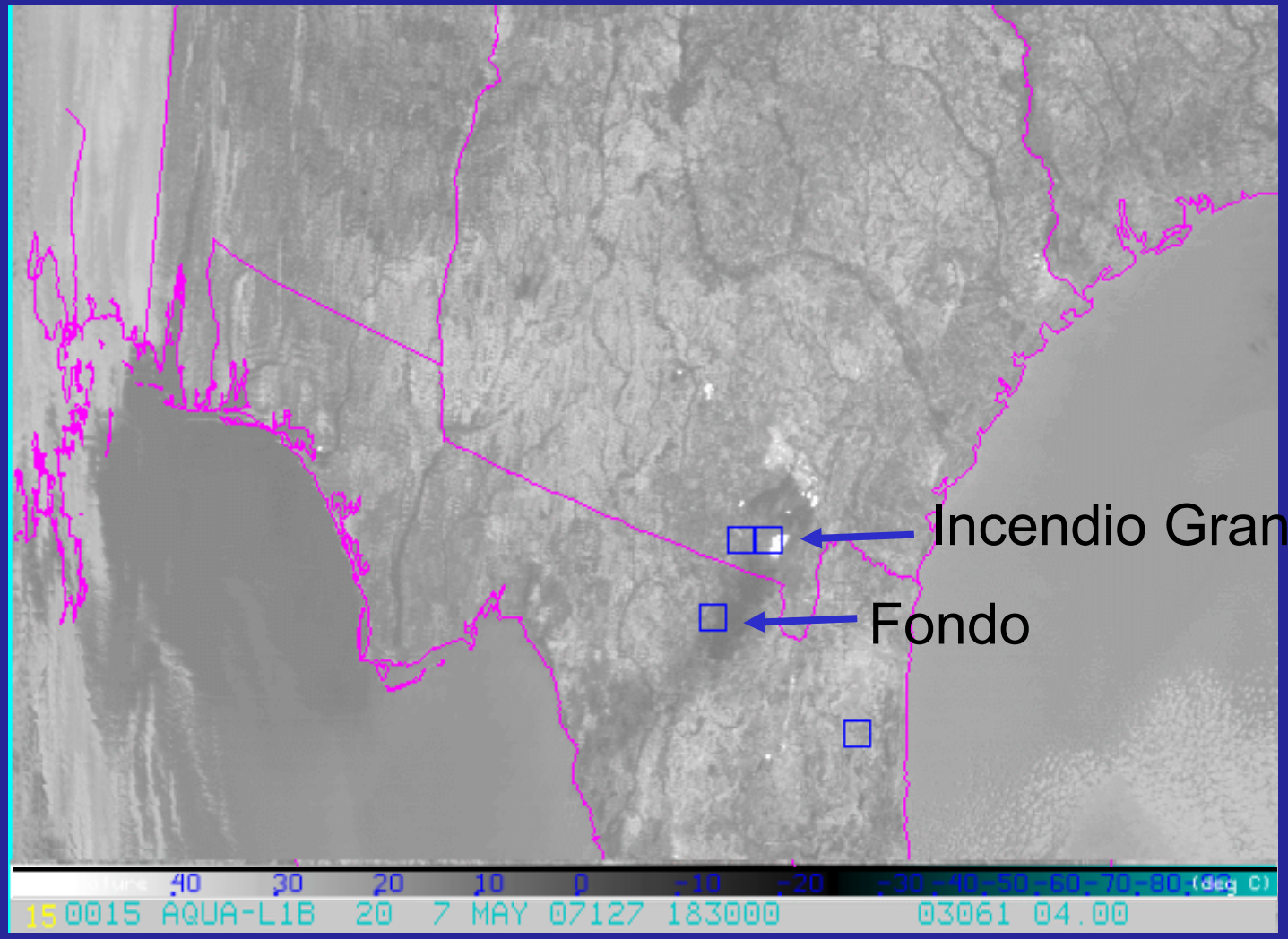


Reflectancia ayuda a encontrar humo

Región 1-6um – 3.9 um ayuda a detectar puntos calientes de incendios

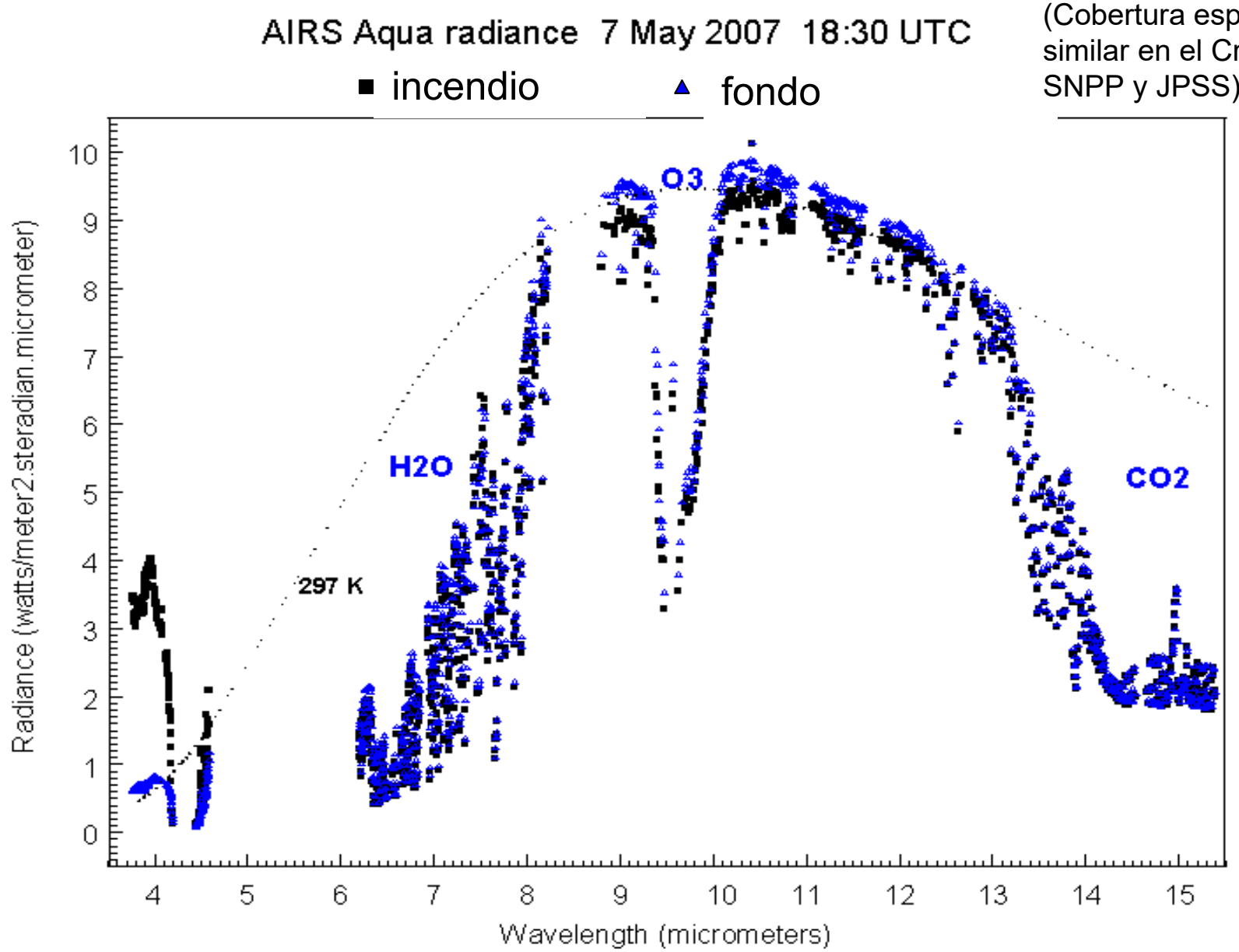
Diagrama de la Librería de Multimedia para le Pronosticador de COMET:
Meteorologia Satelital: Deteccion Remota Utilizando La Imágenes del Nuevo GOES

M.E.Pestaina-Jeffers
CIMH, Barbados



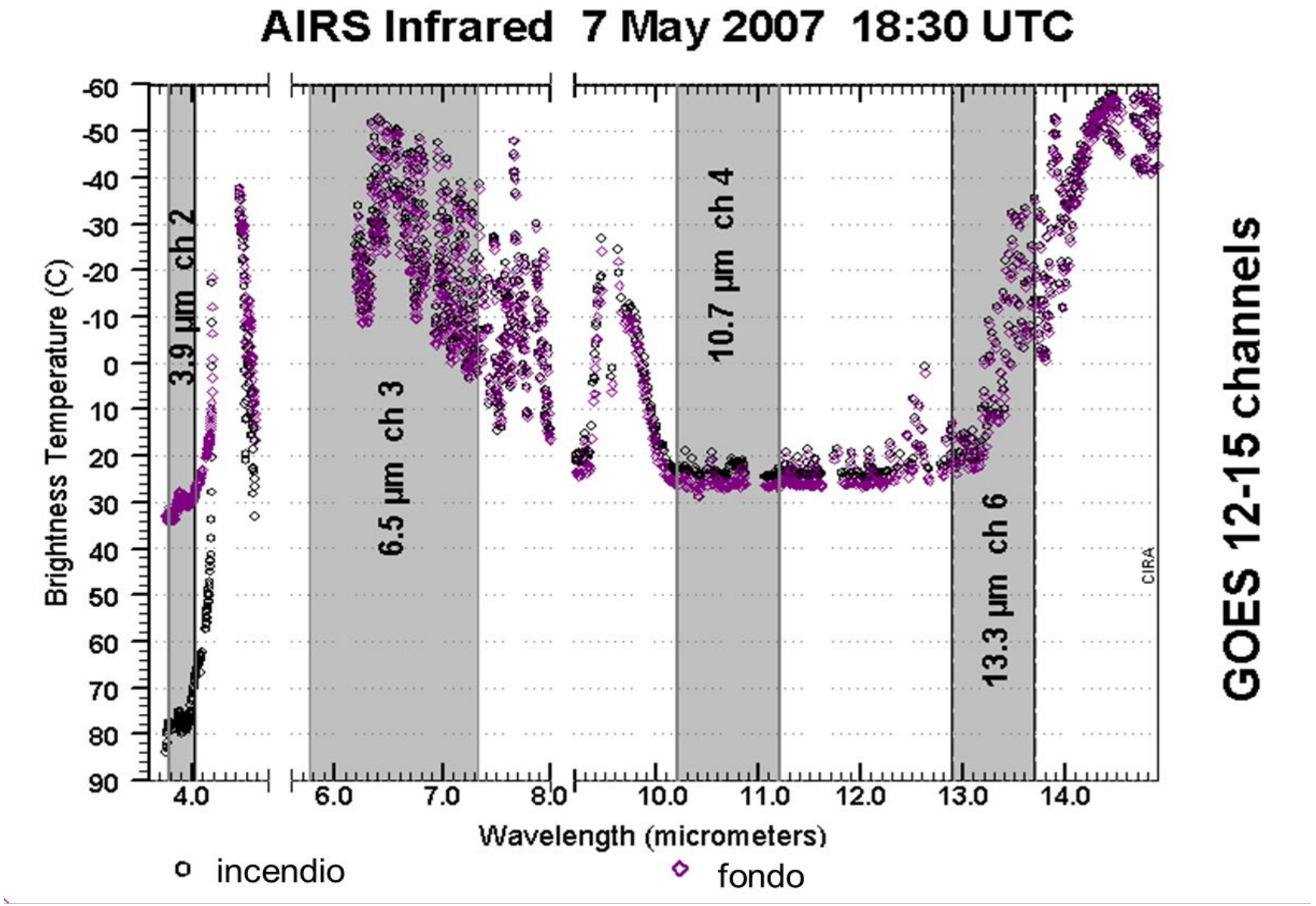
3.9 µm Imagen para 7 Mayo 2007 1830 UTC

Resplandores: Punto Caliente (incendio) vs fondo



(Cobertura espectral similar en el CrIS, en el SNPP y JPSS)

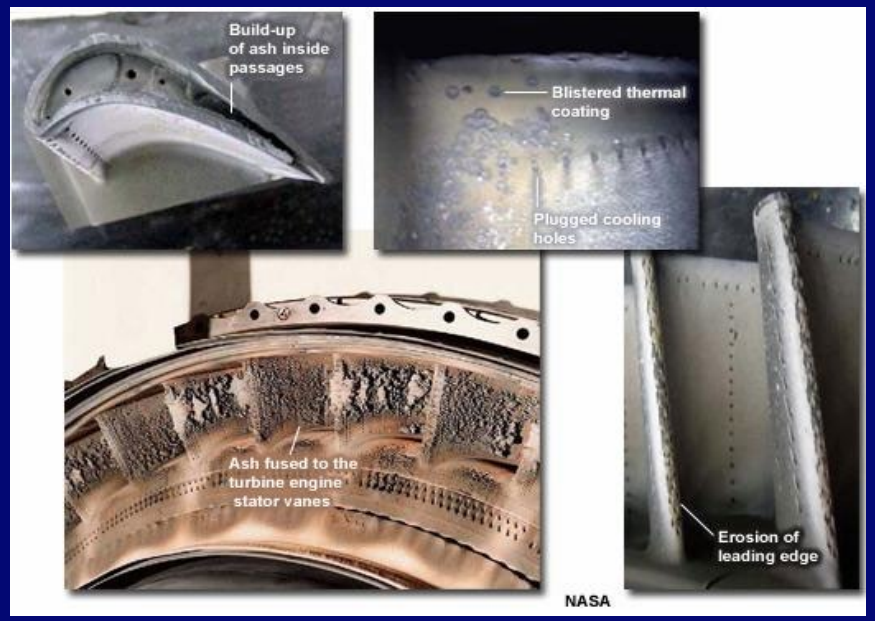
Temperatura de Brillo: Punto Caliente (incendio) vs fondo



Detección Satelitales de Erupciones Volcánicas

Peligros del Aire por Erupciones Volcánicas

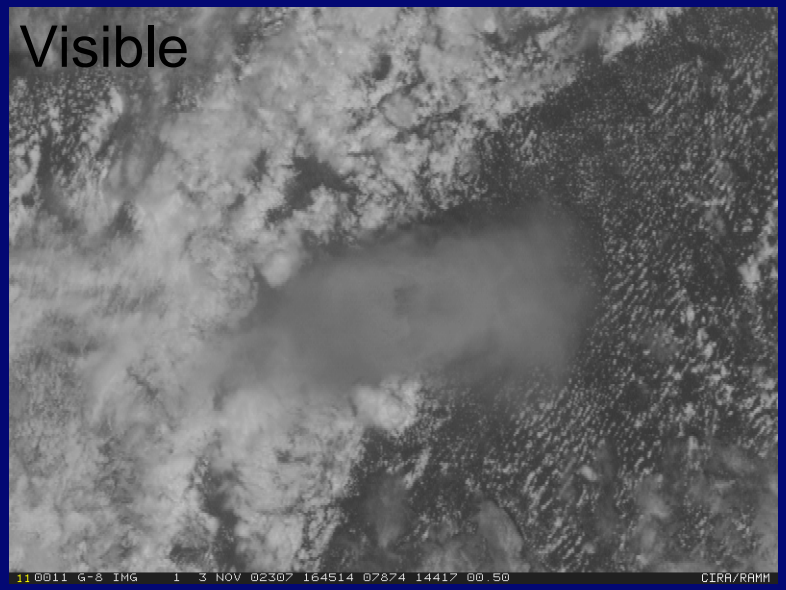
- Aviones no deben volar a través plumas volcánicas.
- Ceniza y sulfatos pueden causar danos significativos en las estructuras de las aeronaves, especialmente en los motores:
  - Motores se pueden dañar durante vuelos
  - Parabrisas se pueden romper
  - Instrumentación se puede dañar
- Evitando emisiones volcánicas causan retrasos y operaciones de vuelos importantes.
- También hay peligros de salud desconocidos.

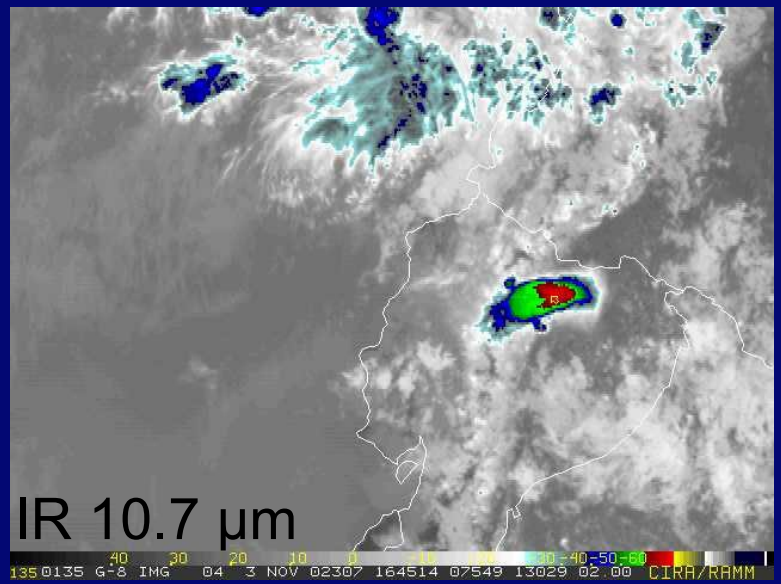


Detección de Emisiones Volcánicas

El contexto es importante. Comenzar evaluando si la firma en la imagen es inusual (no es un proceso meteorológico común esperado). En este ejemplo:

- En imagen visible la nube se ve obscura
- Si es convección, no debería de suceder a esta hora del día o en esta situación
- La nube se mueve en direcciones extrañas e inesperadas





3 de nov 2002 16:45 UTC Volcán Reventador, Ecuador

Ceniza (y polvo) en la diferencia entre 10.7 – 12.0 um

La diferencia, llamado “ventana dividida” o “split window”, detecta la presencia de silicatos como polvo y ceniza volcánica.

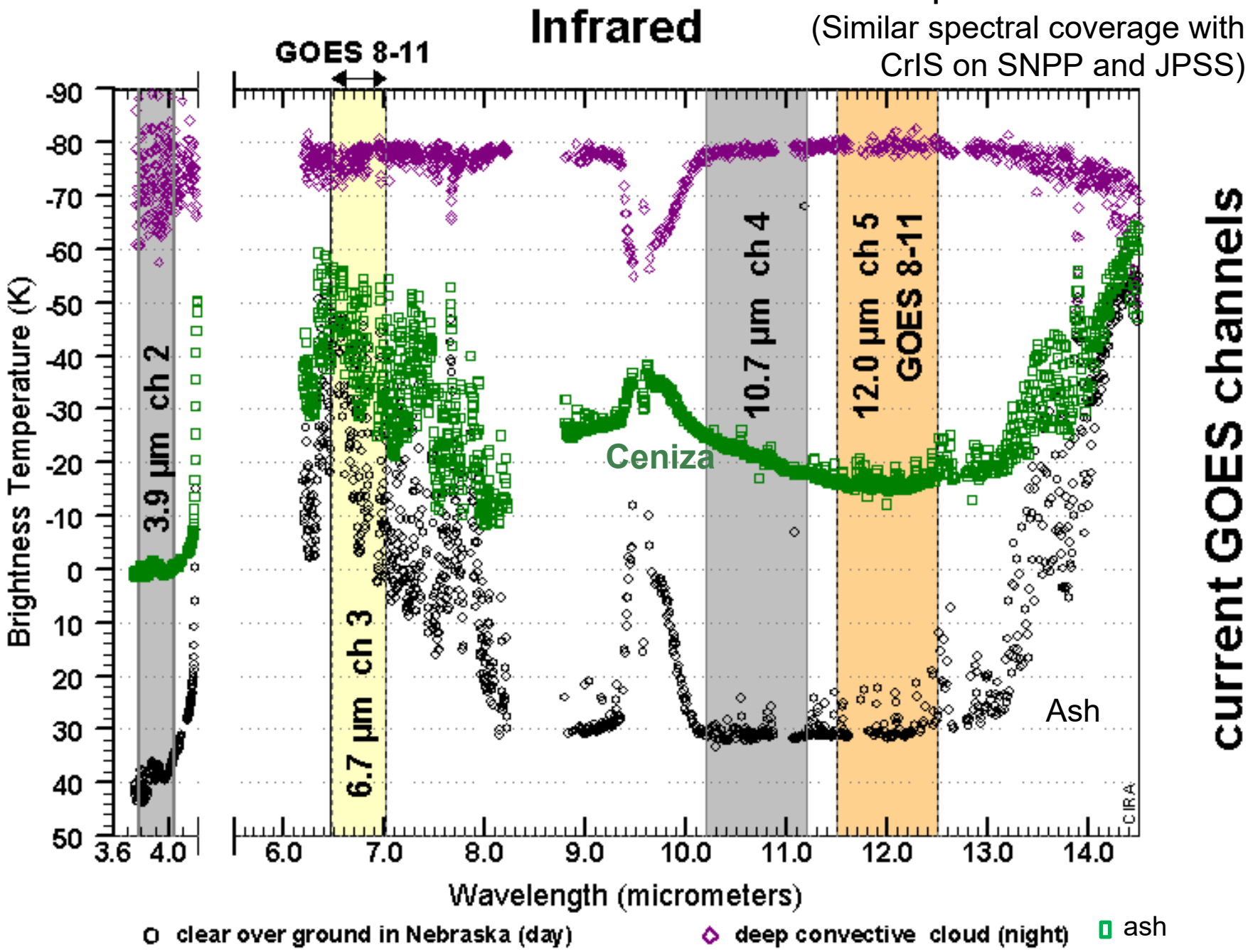
$BT_{12um} - BT_{10um} > 0$ … ceniza y/o polvo están presentes

$BT_{12um} - BT_{10um} \approx 0$ … nubes espesas

$BT_{12um} - BT_{10um} < 0$ … nubes de hielo llanas

Spectra from AIRS

(Similar spectral coverage with CrIS on SNPP and JPSS)



current GOES channels

Detección de SO_2 : 7.3 y 8.5 µm

La absorción mas grande de radiación que sale del sistema terrestre por SO_2 ocurre entre la 7.3 - 7.5 µm, y entre 8.3 y 9.0 µm pero a un menor grado.

$BT_{6.9um} - BT_{7.3um} > 0$ … SO_2 (generalmente en la troposfera alta)

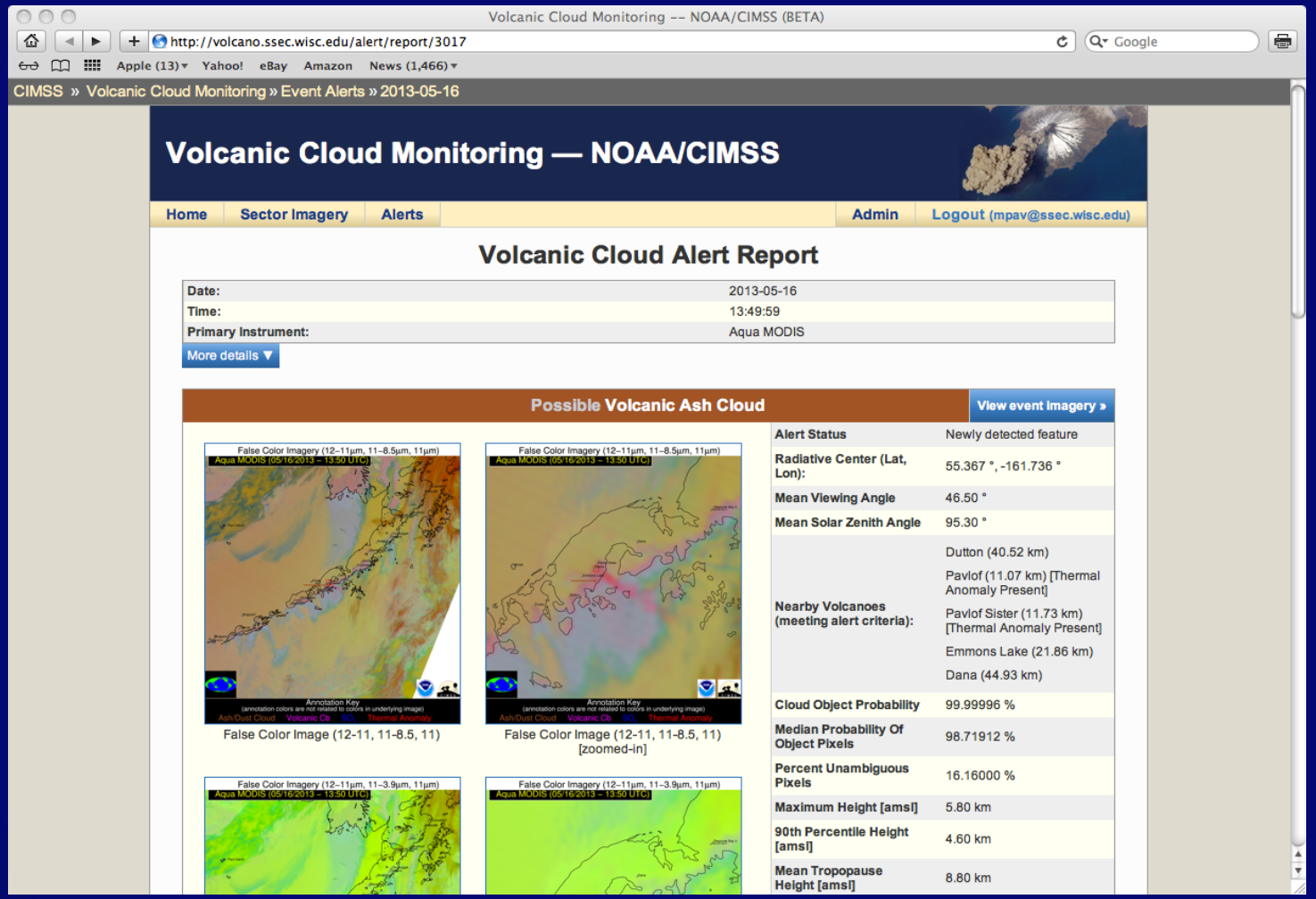
$BT_{6.9um} - BT_{7.3um} \approx 0$ ... nubes espesas

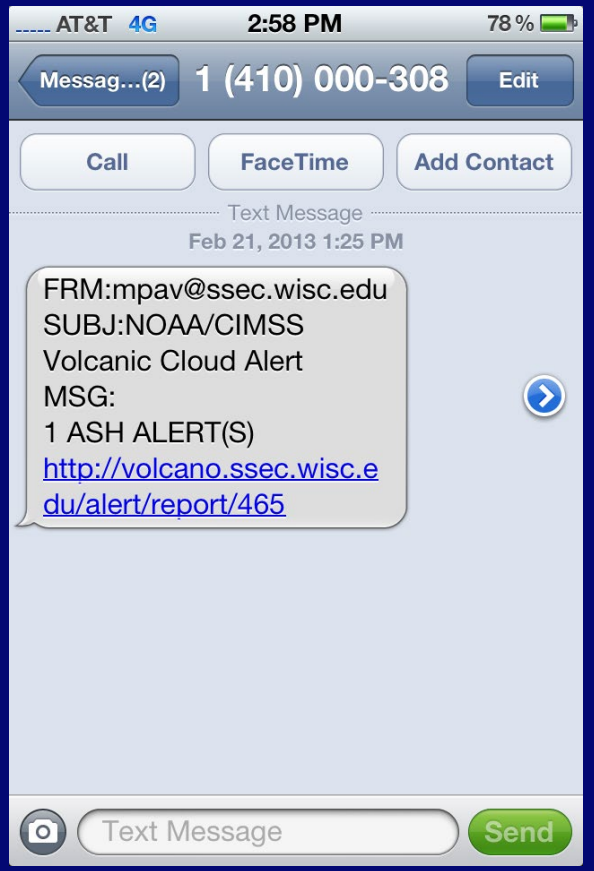
$BT_{6.9um} - BT_{7.3um} < 0$ ... Aire seco

$BT_{10.3um} - BT_{8.5um} > 0$ …SO_2

Comparar con datos extraídos de satélites en orbitas polares. Si las unidades Dobson >2, peligros a la aviación existen.

Sistema de Alertas para Ceniza Volcánica





Imágenes del infrarrojo del MODIS y VIIRS se usan para detectar ceniza volcánica

http://volcano.ssec.wisc.edu/

Resumen

Erupciones volcánicas contienen silicatos y SO2, pero también vapor de agua, y pueden detectarse desde un satélite. Sin embargo, pueden ocurrir en un ambiente complejo donde la información de fondo y las nubes complican la detección.

- Detección de Ceniza (y polvo) : BTD 12 - 10 µm > 0
  También se observa en: BTD 10.3 - 8.5 µm > 0

- Detección de SO_2 : BTD 6.9 - 7.3 µm > 0
  BTD 10 µm - 8.5 µm > 0

  Comparar con datos extraídos de satélites en orbitas polares. Si las unidades Dobson >2, peligros a la aviación existen.

BTD = Diferencia de Temperatura de Brillo, siglas en ingles



Thank You!

ICAO