

Capítulo 13.

Meteorología satelital

- 13.1 Satélites meteorológicos
- 13.2 Identificación del canal
- 13.3 Identificación de la nube según el canal
- 13.4 Nefoanálisis

La meteorología satelital es útil para visualizar el conjunto Tierra–Atmósfera y extraer la máxima información a través de una de las distintas técnicas de teledetección, la medida de radiancias remotamente. Esta información es analizada con el fin de conocer y entender el estado actual de la atmósfera. Las imágenes meteorológicas satelitales se utilizan principalmente para la detección y clasificación de nubes, observación del vapor de agua existente en la atmósfera, y temperatura de la superficie marítima y terrestre.

13.1 Satélites meteorológicos

Un satélite meteorológico es una plataforma de teledetección espacial que lleva a bordo espectroradiómetros, instrumentos ultrasensibles que captan radiaciones reflejadas (visual) y emitidas (infrarrojo) del espectro electromagnético en diferentes bandas, captando así datos e imágenes de la atmósfera y de la superficie terrestre para luego enviarlos a estaciones receptoras en Tierra. Los satélites se clasifican según su órbita en dos grandes grupos: satélites geoestacionarios y satélites polares (figura 86).

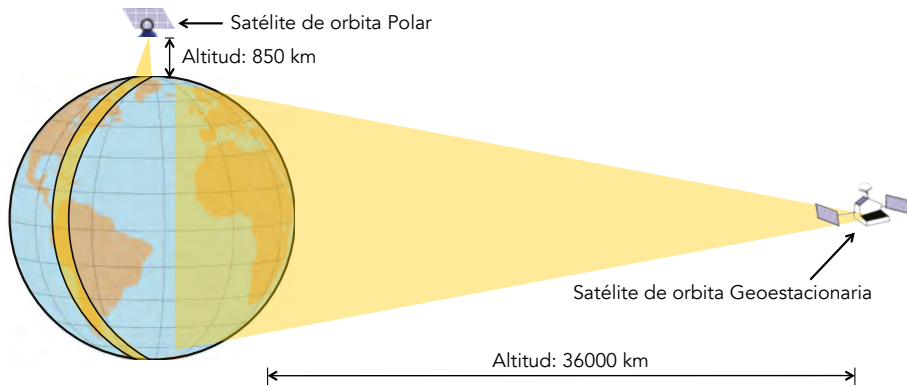


Figura 86. Órbita de los satélites meteorológicos.

Fuente: elaboración propia.

Los satélites de *órbita polar*, como su nombre lo indica, orbitan la Tierra aproximadamente de polo a polo; también son llamados *satélites heliosincrónicos*³³. Este grupo de satélites está compuesto principalmente por los satélites POES de la agencia NOAA

³³ Satélites que están en una órbita que le permite pasar sobre cualquier punto de la superficie terrestre a la misma hora solar local.



(National Oceanic and Atmospheric Administration), de origen norteamericano, y los METOP, FY y METEOR, de origen europeo, chino y ruso respectivamente.

La constelación de satélites POES de la NOAA está compuesta por: NOAA-15, NOAA-18 y NOAA-19. Se prevé que la nueva generación de satélites, es decir, NOAA-20, haga parte de una nueva constelación llamada Joint Polar Satellite System (JPSS), la cual ya cuenta con su primer satélite, el Suomi NPP.

Los satélites geoestacionarios o geosincrónicos³⁴ orbitan a una altura mucho más superior que los polares y se encuentran sobre la línea del ecuador. Están conformados principalmente por la serie GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) de la NOAA que cubren las Américas y parte del Océano Atlántico y Pacífico. El resto del planeta está cubierto por diferentes agencias/satélites tales como METEOSAT (Unión Europea), INSAT (India), ELEKTRO (Rusia), HIMAWARI (Japón), principalmente.

173

13.1.1 Satélites polares o helio – sincrónicos

Estos satélites se mueven alrededor de la Tierra en una órbita elíptica, sincronizada con respecto al Sol en un movimiento circular que se desplaza de *Polo a Polo* (figura 87). Los actuales satélites están ubicados en órbitas que van desde los 800 hasta los 1000 km. Este tipo de satélite tiene la función de observar toda la Tierra dos veces al día y proporcionar imágenes con resoluciones cercanas a 1 km, tanto en el espectro visible como en el infrarrojo. Satélites con mayor resolución, como el Suomi NPP, cuentan con el VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) y por lo tanto alcanzan una resolución de 750 m.

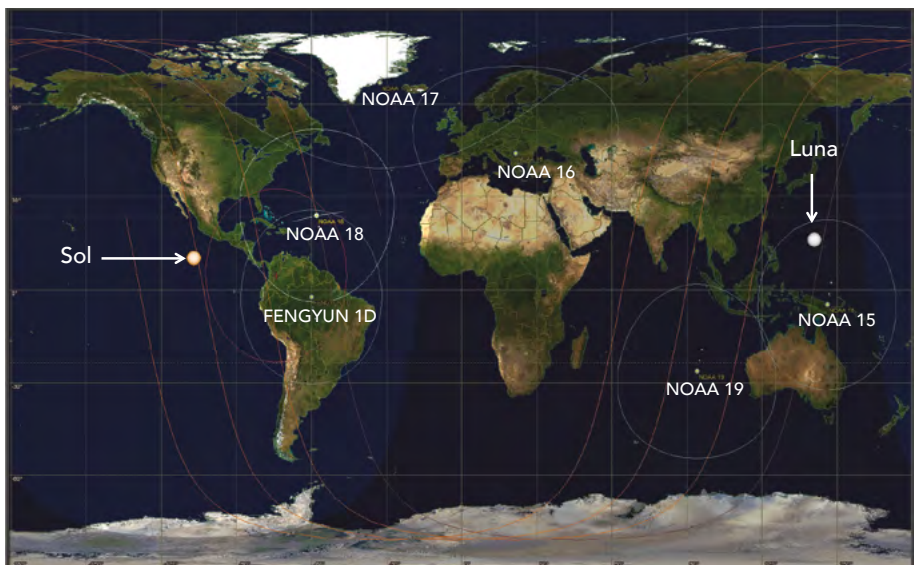


Figura 87. Órbita de los satélites polares.
Fuente: elaboración propia.

34 Están sincronizados con el movimiento de rotación de la Tierra.



El ancho de la franja de visión normalmente es de 2 600 km y el satélite envía los datos a las estaciones donde la información es procesada y analizada. El tiempo de transmisión y análisis de datos hace que la información no esté disponible para el usuario en *tiempo real*³⁵.

174

Los datos de estos satélites están limitados en el sentido que solo pasan por una misma zona dos veces al día, de tal manera que si la primera pasada se realiza a las 04:00 horas, el segundo paso se calcula para las 16:00 horas. No siempre el satélite cubre toda el área de interés ni pasa todos los días a la misma hora sobre una misma área.

La figura 88, por ejemplo, muestra la franja de imagen tomada desde el satélite polar NOAA19 el 06/SEP/12 a las 14:24 HL y el 16/SEP/13 a las 12:36 HL con resolución de 1 km. Estos casos representan la desventaja del satélite polar al no tomar datos de algunas de las zonas orientales y occidentales de Colombia.

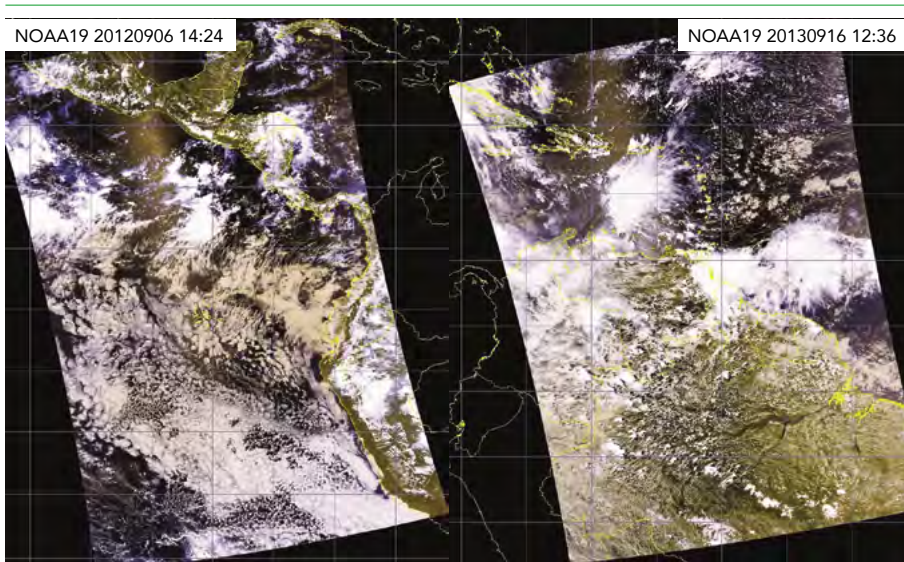


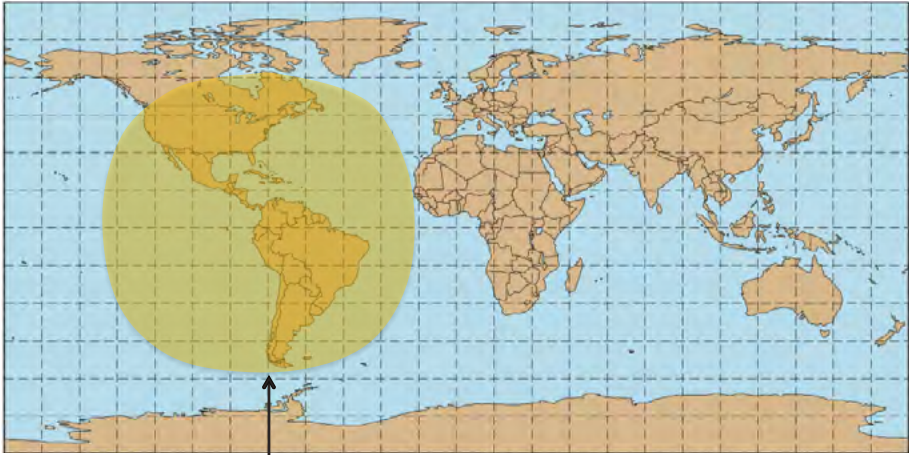
Figura 88. Problemas que se presentan en área de barrido de los satélites polares.
Fuente: Tomado del SIMFAC (s.f.).

13.1.2 Satélites geostacionarios

La altitud de la órbita de un satélite geostacionario es de 36 000 km. A esta altitud el periodo orbital es de 24 horas y coincide con la velocidad de rotación de la Tierra, de tal manera que el satélite parecerá estar siempre fijo sobre el mismo punto de la Tierra con una única área de cubrimiento. Por la ubicación de Colombia, las imágenes meteorológicas satelitales proceden del GOES 13 (figura 89).

³⁵ La American Meteorological Society (s.f.c) define *tiempo real* como datos u observaciones para los cuales el reporte o registro de eventos es casi simultáneo a su ocurrencia.





Área de cobertura GOES-13

Figura 89. Área de cubrimiento del GOES-13.

Fuente: elaboración propia.

Ventajas:

- Solo se necesitan 5 satélites para cubrir toda la Tierra (excepto los polos)
- Visibilidad permanente sobre la zona de interés
- Datos de observaciones cada media hora para el caso de Colombia

Se espera que la nueva generación GOES-R, que ya está en órbita, entre en servicio operacional a partir del 2018; como GOES-East, esta provee tres veces más información espectral, tiene cuatro veces más resolución espacial y generará datos de observaciones cada 15 minutos sobre Colombia.

Limitaciones:

- No toma datos sobre regiones polares.
- En el canal infrarrojo y vapor de agua, la resolución es de 4 km.

Se espera que el GOES-16 provea imágenes visibles con 500 m de resolución e imágenes infrarrojas a 1 km. El satélite cuenta con 16 bandas espectrales (2 canales visibles, 4 en infrarrojo cercano y 10 infrarrojos) en lugar de las 5 bandas actuales.

13.1.3 Características de los canales del GOES

Las características actuales del sensor, resolución temporal, tipo de canal, resolución espectral y resolución espacial son resumidas en la tabla 19.

Tabla 19. Características actuales de los canales del satélite GOES.

Sensor	Resolución temporal	Canal	Resolución espectral (micrómetros)		Resolución espacial (km)
Imager	30 min.	1	Visible	0,52 – 0,72	4
		2	Infrarrojo cercano	3,78 – 4,03	
		3	Vapor de agua	6,47 – 7,02	
		4	Infrarrojo lejano	10,2 – 11,2	
		5	Infrarrojo profundo	11,5 – 12,5	
Sounder	30 min.	1	Visible		8

Fuente: elaboración propia.

Las características del futuro GOES-R son resumidas en la tabla 20 según la NOAA (s.f.).

Tabla 20. Características del GOES-R.

Sensor	Resolución temporal	Canal	Resolución espectral (micrómetros)		Resolución espacial (km)
Imager	15 min.	1	Visible	0,45 – 0,49	1
		2	Visible	0,59 – 0,69	0,5
		3	Infrarrojo	0,84 – 0,88	1
		4	Infrarrojo	1,37 – 1,38	2
		5	Infrarrojo	1,58 – 1,64	1
		6	Infrarrojo	2,22 – 2,27	2
		7	Infrarrojo	3,80 – 4,00	2
		8	Vapor de agua	5,77 – 6,60	2
		9	Vapor de agua	6,75 – 7,15	2
Sounder		10	Infrarrojo	7,24 – 7,44	2
Imager		11	Infrarrojo	8,30 – 8,70	2
Sounder		12	Infrarrojo	9,42 – 9,80	2
Imager		13	Infrarrojo	10, – 10,60	2
Sounder		14	Infrarrojo	10,80 – 11,60	2
		15	Infrarrojo	11,80 – 12,80	2
		16	Infrarrojo	13,00 – 13,60	2

Fuente: Modificado de NOAA (s.f.).

Es importante conocer la resolución de una imagen porque es la única manera de interpretar la información suministrada por la misma. A continuación se hace una breve explicación de los términos más comunes asociados a resolución.

Resolución espacial. Indica el tamaño del pixel, está relacionada con el objeto más pequeño que se puede distinguir en la imagen.

Resolución espectral. Indica el número y anchura de las regiones del espectro electromagnético para las cuales capta datos el sensor.

Resolución temporal. Tiempo que transcurre entre dos imágenes consecutivas.



Resolución radiométrica. Indica la capacidad del sensor de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta. Se expresa en el número de bits requeridos para almacenar cada celda, un satélite de 8 bits representa 2^8 o 256 niveles de energía que pueden ser captados. Cuanto mayor sea la precisión radiométrica mayor número de detalles podrán captarse en la imagen.

En el programa GOES, los canales 1, 2, 4 y 5 son útiles para observar la forma de las nubes y determinar su temperatura, así como para inferir su base y altura, incluso en horas de la noche. El canal 3 suministra información del contenido de vapor de agua en niveles medios y altos de la atmósfera y es utilizado en contraste con los canales infrarrojos para definir tipo y altura de nubes. Para que los satélites puedan tomar datos, se hace necesario utilizar la técnica de teledetección.

13.2 Identificación del canal

Según el canal (resolución espectral) de donde provenga la imagen satelital, se podrá detectar cierto tipo de fenómeno meteorológico. Para el caso de las nubes, el analista de imágenes debe adiestrar su percepción para entender la información que está recibiendo y reconocer el canal que se está utilizando por imagen.

En el caso de la FAC, los canales utilizados son infrarrojo ($10,7 \mu\text{m}$), visual ($0,65 \mu\text{m}$) y vapor de agua ($6,75 \mu\text{m}$). Para una buena identificación de nubes, se debe hacer antes una buena identificación de canal teniendo en cuenta que:

- Originalmente, los canales infrarrojos (IR), vapor de agua (WV) y visual (VIS) contienen datos satelitales de radiancia (los dos primeros) y de reflectividad en color blanco y negro; la escala de colores asignada es simplemente un realce a ciertos intervalos de radiancia/reflectividad, lo que permite una mejor visualización para su análisis. Para cada valor o intervalo de radiancia medido por el satélite se ha calculado su equivalencia en términos de temperatura.
- No hay colores asociados a un buen o mal tiempo, dependen única y exclusivamente de los administradores del banco de imágenes que reciben los datos en una estación en tierra, quienes les asignan diferentes paletas de colores, dependiendo del fenómeno que se quiera resaltar.
- A cada canal VIS, WV e IR, se le asigna un cierto rango de longitudes de onda, lo que les permite detectar fenómenos meteorológicos diferentes.

13.2.1 Reconociendo una imagen en el canal visual

La imagen del canal visible muestra las nubes tal cual como las vería el ojo humano desde el espacio, y aunque no es posible determinar objetivamente la altura de las nubes, pueden detectarse algunas de sus características. Dependiendo del ángulo de incidencia de la luz solar, algunas nubes de desarrollo vertical, como es el caso de los cumulonimbos, presentan sombras que pueden ayudar a inferir la altura de las nubes circundantes.

En este tipo de imágenes, los centros de los cumulonimbos se parecen mucho a una alcantarilla abierta donde rebosa el agua en forma de burbujas y normalmente se observarán protuberancias donde el fenómeno es más fuerte.



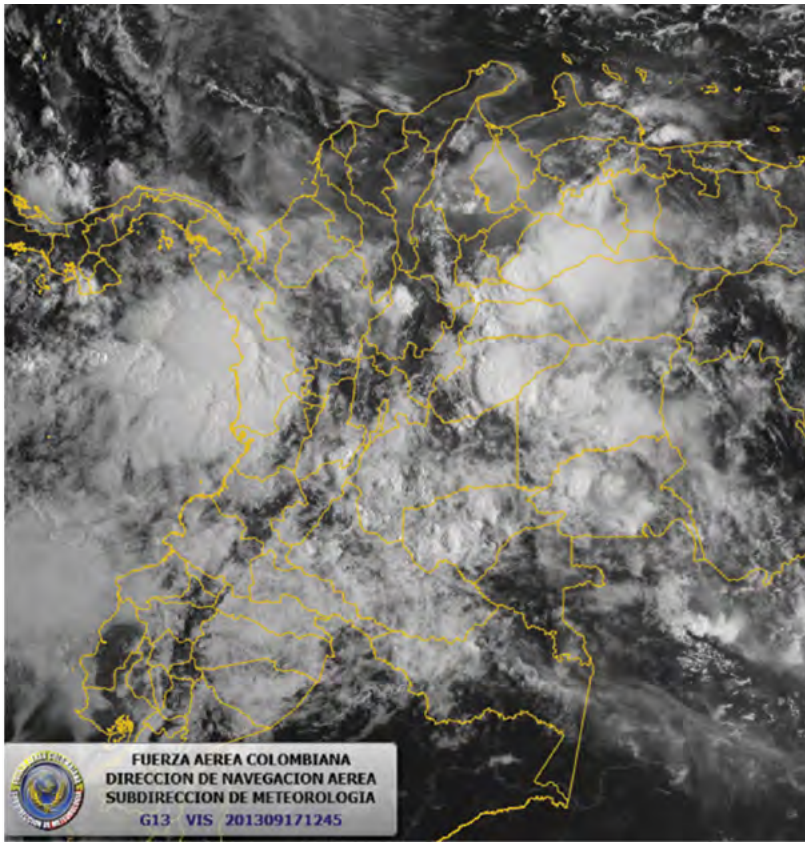


Figura 90. Imagen visual GOES-13.

Fuente: Tomado de SIMFAC (s.f.).

Generalmente, en horas de la tarde, se observa una cadena de estratocúmulos en las cordilleras, asociadas al viento proveniente del Este, que chocan con las montañas colombianas. Este aire asciende, se enfría, se condensa y produce nubosidad convectiva.

13.2.2 Reconociendo una imagen en el canal vapor de agua

Parece una foto mal tomada o corrida, aparenta un velo transparente que necesita ajustes y se puede pensar que necesita mejoras en la resolución. Los bordes de los sistemas más desarrollados (cumulonimbos) no están bien definidos y parecen estar pixelados, esto como respuesta del cálculo de la cantidad de agua presente en la atmósfera.

Este tipo de imagen normalmente contiene menos información, ya que solo está en capacidad de detectar nubes medias (alto estratos y alto cúmulos) y de desarrollo vertical. Las áreas que muestra este tipo de imagen son casi siempre donde las condiciones atmosféricas están más deterioradas.

Las imágenes de vapor de agua son útiles para efectuar seguimiento a patrones atmosféricos que de otra forma no se verían; esto, debido a la facilidad con que el vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica.



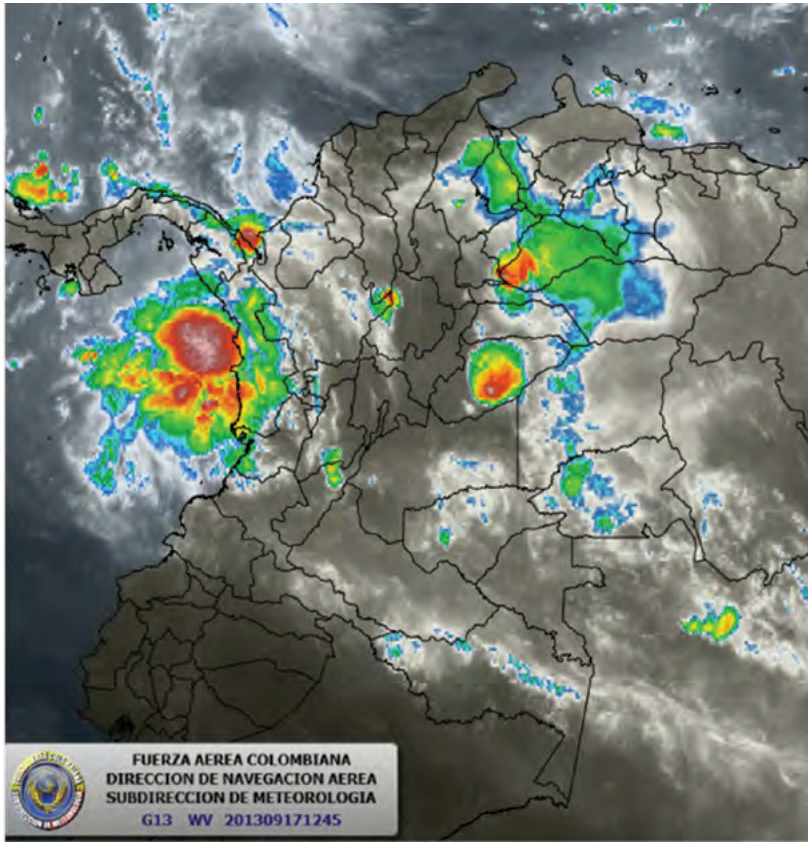


Figura 91. Imagen vapor de agua GOES-13.

Fuente: Tomado de SIMFAC (s.f.).

13.2.3 Reconociendo una imagen en el canal infrarrojo

Para el ojo humano, esta imagen presenta mayor resolución que una imagen en vapor de agua, pues los bordes de los sistemas más complejos (cumulonimbos) están bien definidos.

Esta imagen provee mayor información y permite ver todos los tipos de nubes (bajas, medias, altas y de desarrollo vertical), ya que cada valor de radiancia tiene asociada una temperatura. Así, haciendo uso del gradiente vertical de la temperatura del aire, es posible determinar la altura de cada nube.

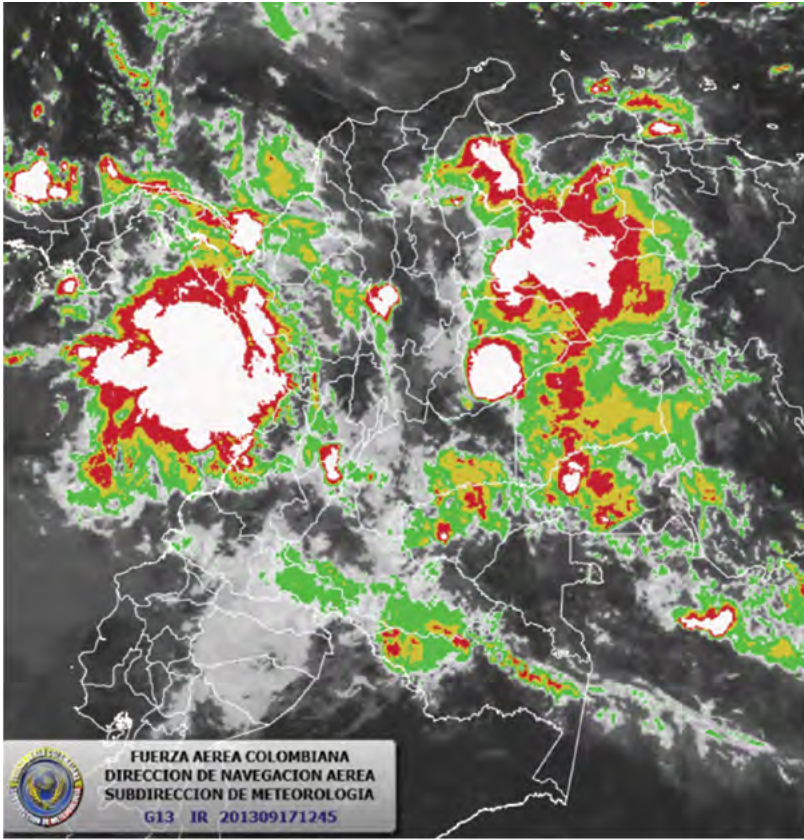


Figura 92. Imagen infrarroja GOES-13.

Fuente: Tomado de SIMFAC (s.f.).



13.3 Identificación de la nube según el canal

Cada canal está o no en la capacidad de detectar cierto tipo de fenómenos meteorológicos. El brillo de una nube (más blanco) debe interpretarse según el canal (tabla 21).

Tabla 21. Significado del brillo en una nube según el canal.

BRILLO (blanco más intenso)		
CANAL VIS	CANAL IR	CANAL WV
<p>Espesor (a más espesor más brillo). Más cantidad de agua en las nubes, más brillante. Puede detectar ondas de montaña.</p>	<p>Las zonas más frías aparecerán más blancas y brillantes. El brillo depende de la latitud del tope nuboso.</p>	<p>Las zonas más brillantes tendrán gran contenido de humedad, las zonas oscuras representan poca humedad. Pueden detectar turbulencia en aire claro.</p>

Fuente: elaboración propia.

De la misma manera, cada canal, según la longitud de onda en la que opere, tiene o no más capacidad de detectar las nubes según su altura, las cuales indican la presencia de humedad en la atmósfera. Un enfoque práctico que sirva como base para clasificar las nubes utilizando imágenes de satélite puede resumirse en la tabla 22.

Tabla 22. Detección de nubes según el canal.

	CANAL VIS	CANAL IR	CANAL WV
Nubes altas	Las detecta con dificultad.	Sí las detecta. La observación de los cirros permite rastrear los vientos.	Las detecta con dificultad.
Nubes medias	Las detecta con dificultad.	Fácilmente detectables.	Fácilmente detectables.
Nubes bajas	Fácilmente detectables. Pueden verse las nubes de montaña. Los Cb presentan protuberancias en el centro. Los estratos son extensos en sentido horizontal.	Sí las detecta.	No las detecta, una leve señal podría tratarse de un estratocúmulos.
Niebla	Fácilmente detectables. Suele ser estacionaria. Confinada por montañas. Textura uniforme y extensa.	La detecta con dificultad. Textura uniforme.	No la detecta.
TCU y Cb	Fácilmente detectables. Son altamente reflexivos. Las cimas ayudan a localizar zonas con corrientes ascendentes. Se observan gránulos bien formados en el centro de los Cb.	Fácilmente detectables. Las bajas temperaturas indican áreas con fuerte desarrollo vertical. Las cimas más grandes con fuerte desarrollo vertical se distinguen claramente.	Fácilmente detectables. La aparición de nubes en este canal revela las nuevas tormentas.

Fuente: elaboración propia.



13.4 Nefoanálisis

Una vez se conocen las características y capacidades del canal de donde proviene la imagen, se procede a comparar los tres canales, de tal manera que sea factible identificar el tipo y altura de la nube. Para hacer un correcto nefoanálisis, se debe conocer la información presentada en la tabla 23.

182

Tabla 23. Capacidades del canal en la detección de tipo de nubes.

CANAL VIS		Canal de identificación	
		Principal	Secundario
Altas > 6 km	Cirros (Ci)	IR	
	Cirro estratos (Cs)		
	Cirro cúmulos (Cc)		
Medias 2 km – 6 km	Alto estratos (As)	WV	IR, detecta especialmente Ac
	Alto cúmulos (Ac)		
Bajas 0 – 2 km	Estratos (St)	VIS	IR, detecta especialmente Sc
	Estrato cúmulos (Sc)		
Desarrollo vertical 0 – 20 km	Cúmulos (Cu)	Difíciles de identificar	
	Torrecúmulos (TCU)	IR – WV – VIS	
	Cumulonimbos (Cb)		

Fuente: elaboración propia.

Tomando tres imágenes en diferente canal y asignando siete casos de ejemplo, se puede determinar el tipo y altura de las nubes previamente identificadas en la figura 93.

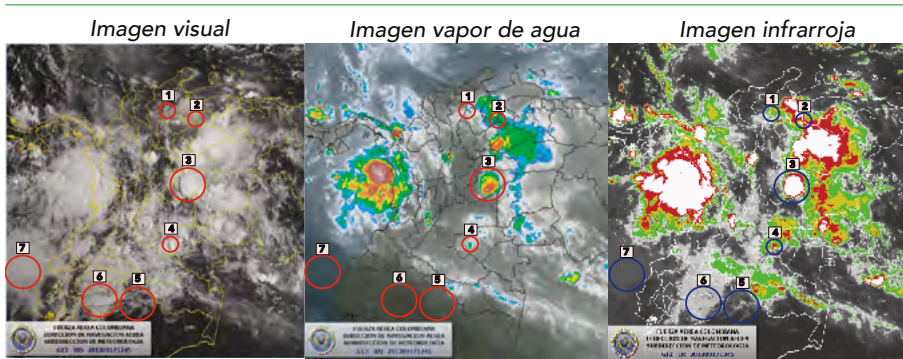


Figura 93. Nefoanálisis sobre el territorio colombiano.

Fuente: elaboración propia.

Una vez analizadas y comparadas las imágenes en los tres canales, se asigna un «SI» indicando que el canal tiene la capacidad de ver la nube objeto de estudio y un «---» indicando que no la puede detectar. El análisis de detección en los tres canales permite definir el tipo y altura de la nube (tabla 24).



Tabla 24. Tipo y altura de nubes según nefoanálisis.

Nubes Ejemplo	Canal de identificación			Tipo de nube	Altura
	IR	WV	VIS		
Nube 1	SI	SI	SI	"Ac" detectados en IR y WV "St" detectados en VIS	2 – 6 km 0 – 2 km
Nube 2	SI	SI	----	"Ac" detectados en IR y WV	2 – 6 km
Nube 3	SI	SI	SI	"Cb" señal en todos los canales	0 – 20 km
Nube 4	SI	SI	SI	"TCU" señal en todos los canales	0 – 12 km
Nube 5	SI	----	SI	"Sc" señal fuerte en IR y VIS "Ac" señal fuerte en IR	0 – 2 km 2 – 6 km
Nube 6	SI	----	SI	"Sc" señal fuerte en IR y VIS	0 – 2 km
Nube 7	SI	SI	SI	"St" señal fuerte en IR y VIS	0 – 2 km

Fuente: elaboración propia.



