

MÁSTER UNIVERSITARIO EN NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO

TRABAJO FIN DE MÁSTER

〈PREDICCIÓN METEOROLÓGICA A TRAVÉS DE IMÁGENES SATÉLITE APLICADA A LA NAVEGACIÓN MARÍTIMA〉

Estudiante	<i>Doussinague, Ortiz, Carlos</i>
Director/Directora	<i>Sotes, Cedrón, Iranzu</i>
Departamento	Dpto. de Ciencias y Técnicas de la Navegación, Máquinas y Construcciones Navales
Curso académico	2020-2021

Bilbao, 6 de junio de 2021

RESUMEN

El presente trabajo trata de avanzar un paso más en el apoyo que el marino realiza en mapas y boletines meteorológicos a la hora de prever y elaborar un plan de viaje, añadiendo documentos evolucionados modernos como las imágenes de satélite.

Se propone una metodología de estudio y entrenamiento basada en los modelos conceptuales de los fenómenos meteorológicos que se aplican en la interpretación de las imágenes satélite.

Finalmente, para el estudio y la constatación de dichas imágenes, se plantea la utilización de los mapas de análisis correspondientes a los mismos estados.

Afortunadamente, aún hay ciertas materias que escapan al control del ser humano, siendo el amplio campo que engloba la meteorología una de ellas. Con el tiempo, solo un análisis retrospectivo basado en la experiencia tal y como se concibe en ciencias físicas permitirá ver el progreso del marino en la materia.

Palabras clave *modelo conceptual, análisis meteorológico, imágenes satélite, navegación marítima*

LABURPENA

Lan hau itsasgizonak bidaiak planak aurreikusi eta lantzeko garaian iragarpen meteorologiko eta mapetan egiten duen analisian aurrerapauso bat ematen saiatzen da. Horretarako, satellite bidezko irudiak bezalako dokumentu modernoak lantzen dira itsasoko garraioari aplikatuak.

Satelite irudien interpretazioan erabiltzen diren fenomeno meteorologikoen eredu kontzeptualetan oinarritutako azterketa eta prestakuntza metodologia proposatzen da.

Azkenik, irudi horiek aztertzeko eta egiaztatzeko, egoera berdinak aztertzen dituzten analisi mapen erabilera proposatzen da.

Zorionez, gizakiaren kontroletik kanpo dauden zenbait gairak daude geratzen dira oraindik, meteorologia barne hartzen duen eremu zabala horietako bat izanik. Denborarekin, itsasgizonak materia honetan egindako aurrerapenaz ohartzeko, esperientzian oinarritutako iragan begirada egin beharko du.

Hitz gakoak *eredu kontzeptuala, analisi meteorologikoa, satelliteen irudiak, itsas nabigazioa*

ABSTRACT

The present work tries to advance one more step in the appraisal that the seafarer makes on meteorological bulletins and charts when anticipating and elaborating a voyage plan, adding modern improved documents such as satellite images.

A study and training methodology based on the conceptual models of meteorological phenomena that are applied in the interpretation of satellite images is proposed.

Finally, for the study and verification of these images, the use of analysis maps corresponding to the same states is proposed.

Fortunately, there are still certain matters that are beyond the control of the human being, being the wide field that includes meteorology one of them. Over time, only a retrospective analysis based on experience as conceived in the physical sciences will allow the seafarer to see its progress in the matter.

Keywords *conceptual model, meteorological analysis, satellite images, maritime navigation*

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	III
TABLA DE CONTENIDOS.....	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABLAS	XIV
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XVI
1. CONTEXTO	17
2. OBJETIVO	22
3. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE.....	24
4. METODOLOGÍA	27
5. INTERPRETACIÓN DE CANALES DE IMÁGENES SATÉLITE UTILIZADOS EN METEOROLOGÍA.....	29
5.1 LAS BANDAS PRINCIPALES Y LOS CANALES COMPUESTOS.....	30
5.1.1 Imagen visible (VIS).....	31
5.1.2 Imagen infrarrojo (IR).....	32
5.1.3 Imagen vapor de agua (WV).....	33
5.1.4 Imágenes RGB.....	34
5.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE NUBES.....	38
5.2.1 Las nubes bajas	40
5.2.2 Las nubes de nivel medio	43
5.2.3 Las nubes de nivel alto.....	43

6. OBSERVACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE LOS CAMPOS DE VIENTO Y LAS NUBES: LOS MODELOS CONCEPTUALES	44
6.1 FRENTE FRÍO.....	45
6.1.1 Frente Frío Anabático.....	47
6.1.2 Frente Frío Catabático	50
6.2 FRENTE FRÍO EN ADVECCIÓN FRÍA (CF in CA).....	52
6.3 FRENTE FRÍO EN ADVECCIÓN CÁLIDA (CF in WA)	56
6.4 FRENTE CÁLIDO.....	59
6.4.1 Escudo de Frente Cálido.....	59
6.4.2 Banda de Frente Cálido.....	61
6.5 FRONTÓLISIS (FD)	64
6.6 CICLOGÉNESIS EXPLOSIVA	68
7. COMPARATIVA DE LOS ANÁLISIS CON LAS IMÁGENES SATÉLITE	76
7.1 FRENTE FRÍO.....	77
7.2 FRENTE FRÍO EN ADVECCIÓN CÁLIDA (CF IN WA).....	81
7.3 FRENTE CÁLIDO.....	83
7.4 FRONTÓLISIS.....	87
7.5 CICLOGÉNESIS EXPLOSIVA	90
8. CONCLUSIONES.....	97
9. LÍNEAS FUTURAS.....	101
9.1 AVANZAR Y CONTINUAR CON EL ESTUDIO.....	102
9.2 LA SIGUIENTE GENERACIÓN DE SATÉLITES.....	103
10. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y WEBS DE INTERÉS.....	105

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1:** Como se puede ver, hay muchas áreas con poca o ninguna cobertura en la mar. Fuente: <https://www.metoffice.gov.uk/> 18
- Figura 1.2:** Hoy en día, aparatos como el barómetro, barógrafo e higrómetro siguen teniendo un valor inestimable a bordo para el marino. Fuente: varias 19
- Figura 4.1:** Diagrama de la metodología propuesta 28
- Figura 5.1:** Las imágenes satelitales de una borrasca en el Atlántico norte en diferentes canales pueden proporcionar mucha información de interés meteorológico (de arriba abajo imagen VIS0.6m, imagen IR10.8m e imagen WV6.2m). Fuente: <https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default> 31
- Figura 5.2:** 1 de mayo de 2021 / 12.00 UTC - Cúmulos sobre el Golfo de Vizcaya. Imagen VIS0.6 (izda.) e imagen IR10.8 (dcha.). Fuente: <https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default> 41
- Figura 5.3:** 23 de abril de 2021 / 12.00 UTC – Estratocúmulos sobre el Golfo de Vizcaya. Imagen VIS0.6 (izda.) e imagen IR10.8 (dcha.). Fuente: <https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default> 42
- Figura 6.1:** Esquemas de colores de las imágenes satélite IR, VIS y WV para frentes fríos de tipo anabático (izda.). Las otras dos imágenes esquematizan la teoría clásica (centro) y de corrientes de aire (dcha.) que explican dicho fenómeno. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm> 47
- Figura 6.2:** Ilustración esquemática de colores y formas de las imágenes satélite de las Masas de aire RGB para frentes fríos de tipo anabático. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm> 48
- Figura 6.3:** Ilustración de colores y formas de las imágenes satélite del canal RGB Polvo para frentes fríos de tipo anabático. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm> 49

- Figura 6.4:** Esquemas de colores de las imágenes satélite IR, VIS y WV para frentes fríos de tipo catabático (izda.). Las otras dos imágenes esquematizan la teoría clásica (centro) y de corrientes de aire (dcha.) que ayudan a explicar dicho fenómeno. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>.....50
- Figura 6.5:** Ilustración esquemática de colores y formas de las imágenes satélite de las Masas de aire RGB para frentes fríos de tipo catabático. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>.....51
- Figura 6.6:** Ilustración esquemática de colores y formas de las imágenes satélite RGB Polvo para frentes fríos de tipo catabático. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>.....51
- Figura 6.7:** Esquemas de tonos y formas de un FF en AF vistas a través de los canales básicos IR (izda.) VIS (centro) y WV (dcha.). Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>.....53
- Figura 6.8:** Colores y formas de un FF en AF para el compuesto de masas de aire RGB. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>.....54
- Figura 6.9:** Colores y formas de un FF en AF para el compuesto de polvo RGB. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>.....54
- Figura 6.10:** Resumen visual de tonos y formas de las imágenes satélite en los canales básicos de un frente frío en advección cálida. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>.....56
- Figura 6.11:** Colores y formas del modelo de FF en AC para el compuesto de masas de aire RGB. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>.....57

Figura 6.12: Colores y formas del modelo de FF en AC para el compuesto de polvo RGB. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	58
Figura 6.13: Resumen visual de tonos y formas de las imágenes satélite en los canales básicos para el caso de un escudo de frente cálido. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	59
Figura 6.14: Esquema de colores y formas para imágenes compuestas de masas de aire RGB y polvo RGB en escudos de frente cálido. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	61
Figura 6.15: Resumen visual de colores y formas de las imágenes satélite en los canales básicos para el caso de un frente cálido. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	62
Figura 6.16: Dibujo esquemático de colores y formas de las imágenes satélite de masas de aire RGB para el caso de un frente cálido. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	63
Figura 6.17: Dibujo esquemático de colores y formas de las imágenes satélite polvo RGB para el caso de un frente cálido. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	64
Figura 6.18: Esquema de tonos y formas de las imágenes satélite en los canales de una frontólisis. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	65
Figura 6.19: Esquema de colores y formas de las imágenes de masas de aire RGB en el modelo de frontólisis. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	66
Figura 6.20: Esquema de colores y formas de las imágenes de polvo RGB en el modelo de frontólisis. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	67

Figura 6.21: Esquemas de las etapas de ciclogénesis explosiva vistas a través de los canales básicos IR, WV y VIS (sup. izda.: etapa inicial; sup. dcha.: etapa de desarrollo; inf. Izda.: etapa avanzada; inf. dcha.: etapa madura). Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	69
Figura 6.22: Etapas de ciclogénesis explosiva en el compuesto RGB de masas de aire. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	72
Figura 6.23: Etapas de ciclogénesis rápida para RGB polvo. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm	73
Figura 7.1: 4 de diciembre de 2020/ 00.00 UTC Imagen IR del Meteosat 8. Fuente: https://www.wetterzentrale.de	77
Figura 7.2: 4 de diciembre de 2020 / 00.00 UTC - Imágenes Meteosat 8 WV, y masas de aire RGB. Fuente: https://www.wetterzentrale.de	78
Figura 7.3: Mapas sinóptico de análisis en superficie (4 de diciembre de 2020 / 00.00 UTC). Fuente: https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/	78
Figura 7.4: Análisis del estado de la mar (4 de diciembre de 2020 / 12.00 UTC). Fuente: https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/	79
Figura 7.5: Estado de la mar el día seis de diciembre a unas 40 millas al SE de la Bretaña francesa. El viento ya amainó hasta F6 y la mar remanente del NW era de unos tres metros de altura significativa. Obsérvese que la descarga fría posfrontal duró varios días más (los altocúmulos mostraban que el frente ya había pasado). Fuente: propia	80
Figura 7.6: 7 y 8 de mayo de 2021 / 23.00-00.00UTC - Imágenes Meteosat 8 IR y WV. Fuente: https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default	81
Figura 7.7: 8 de mayo de 2021 / 00.00UTC - Imágenes Meteosat 8 en los compuestos RGB. Fuente: https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default	82

- Figura 7.8:** 23 de abril de 2021 / 15.00UTC - Imagen del Meteosat 8 VIS (superior izda.), IR (superior dcha.), WV (inferior izda.) y masas de aire RGB (inferior izda.). Fuente: <https://www.wetterzentrale.de/>.....83
- Figura 7.9:** 23 de abril de 2021 / 15.00UTC - Imagen del Meteosat 8 polvo RGB. Fuente: <https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>.....84
- Figura 7.10:** 23 de abril de 2021 / 12.00-18.00UTC – Análisis en superficie de la NOAA. Fuente: <https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/>...85
- Figura 7.11:** 23 de abril de 2021 / 08.00-10.00UTC – A bordo, rumbo NE $\frac{1}{4}$ al N al E de Finisterre se pudo apreciar el aumento de la nubosidad gradual y la mar de SW que precedían el paso frontal. Fuente: propia.....85
- Figura 7.12:** 23 de abril de 2021 / 10.30UTC – La lluvia no tardaría en llegar, en este caso en forma moderada. Fuente: propia86
- Figura 7.13:** 13 de marzo de 2021 / 12.00UTC - Imagen del Meteosat 8 VIS (superior izda.), IR (superior dcha.), WV (inferior izda.) y masas de aire RGB (inferior izda.). Fuente: <https://www.wetterzentrale.de/>88
- Figura 7.14:** Durante el paso frontal hubo ausencia nubosidad y precipitaciones en todo momento. Fuente: propia.....88
- Figura 7.15:** 13 de marzo de 2021 / 12.00-18.00UTC – Análisis en superficie de la NOAA donde se puede ver cómo el FF termina juntándose con un FC en la dorsal del Anticiclón de las Azores. Fuente: <https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/>.....89
- Figura 7.16:** En las imágenes VIS del Meteosat 8 se puede apreciar el rápido movimiento de las masas de aire en 24h en los cuadrantes SW y SE de la borrasca (izda.: 27 de enero de 2021 / 12.00UTC; dcha.: 28 de enero de 2021 / 12.00UTC). Fuente: <https://www.wetterzentrale.de/>90
- Figura 7.17:** Las imágenes IR del Meteosat 8 muestran la rápida evolución del sistema por medio de la zona oscura que comienza adquiriendo forma en V hasta formarse una espiral en la cabeza. Fuente: <https://www.wetterzentrale.de/>91
- Figura 7.18:** Las imágenes WV del Meteosat 8 tienen un papel clave para la identificación de la ciclogénesis explosiva utilizando los fundamentos del modelo conceptual. Fuente: <https://www.wetterzentrale.de/>92

Figura 7.19: Las imágenes de las masas de aire en RGB del Meteosat 8 en intervalos de 12h para los días 27 y 28 de enero de 2021. Fuente: https://www.wetterzentrale.de/	93
Figura 7.20: Análisis en superficie de la NOAA a primera hora del día 28 enero de 2021 y a media noche del mismo día. Fuente: https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/	94
Figura 7.21: En el mapa de análisis en superficie de la <i>MetOffice</i> el día 28 de enero de 2021 a las 00.00UTC pueden obtenerse datos de la fuerza del viento de forma más general. Fuente: http://homepages.see.leeds.ac.uk/~lecimb/met/metoffice_charts/	94
Figura 7.22: Los mapas de análisis del estado de la mar de la NOAA reflejan un aumento súbito del oleaje al W de las Azores en apenas 48h. Fuente: https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/	95
Figura 7.23: Medición de la altura de ola significativa en la boya meteorológica de Bilbao-Vizcaya en 43-64N y 003-05W los días 30 y 31 de enero de 2021. Fuente: https://portus.puertos.es/#/	95
Figura 7.24: La imagen tomada a bordo a mediodía el día 28 de enero de 2021 a 17 millas náuticas al N de Bilbao no daba indicios de que a esas horas, algo gordo se estaba desatando al NW del Golfo de Vizcaya. Fuente: propia.....	96
Figura 9.1: Ejemplo del estudio del modelo conceptual de frente frío ártico para la zona del mar de Barents, siguiendo la metodología propuesta en este trabajo. Fuentes: http://www.eumetrain.org y propia	102

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1: La siguiente tabla muestra la naturaleza de los tres canales empleados en el producto de Masas de aire en RGB. Fuente: elaborado a partir de http://www.eumetrain.org/rgb_quick_guides/	35
Tabla 5.2: Pros y contras del empleo de imágenes de Masas de aire en RGB. Fuente: elaborado a partir de http://www.eumetrain.org/rgb_quick_guides/	36
Tabla 5.3: Interpretación de los colores mostrados en las imágenes de Masas de aire en RGB. Fuente: elaboración propia	36
Tabla 5.4: La siguiente tabla muestra la naturaleza de los tres canales empleados en el producto Polvo en RGB. Fuente: elaborado a partir de http://www.eumetrain.org/rgb_quick_guides/	37
Tabla 5.5: Pros y contras del empleo de imágenes del Polvo en RGB Fuente: elaborado a partir de http://www.eumetrain.org/rgb_quick_guides/	38
Tabla 5.6: Interpretación de los colores mostrados en las imágenes de Polvo en RGB. Fuente: elaboración propia	38
Tabla 6.1: Resumen de la apariencia típica de un frente frío de tipo anabático en los canales principales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html	49
Tabla 6.2: Resumen de la apariencia típica de un frente frío de tipo catabático en los canales principales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html	52
Tabla 6.3: Resumen de la apariencia típica de un frente frío en advección fría en los canales principales y RGB. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html	55
Tabla 6.4: Resumen de la apariencia típica de un frente frío en advección cálida en los canales principales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html	58
Tabla 6.5: Resumen de la apariencia típica de un WFS en los canales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html	61

Tabla 6.6: Resumen de la apariencia típica de un WFB en los canales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html	64
Tabla 6.7: Resumen de la apariencia típica de una frontólisis en los canales principales y compuestos. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html	67
Tabla 6.8: Resumen de la apariencia típica de un frente cálido dividido en los canales principales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html	73
Tabla 7.1: Resumen de eventos meteorológicos del frente frío anabático. Fuente: varias	80
Tabla 7.2: Resumen de eventos meteorológicos en un frente frío catabático. Fuente: varias	80
Tabla 7.3: Resumen de eventos meteorológicos en un frente frío en advección cálida. Fuente: varias.....	82
Tabla 7.4: Resumen de eventos meteorológicos en un frente cálido. Fuente: varias.....	86
Tabla 7.5: Resumen de eventos meteorológicos en un frente cálido separado. Fuente: varias	89
Tabla 7.6: Resumen de eventos meteorológicos en una ciclogénesis explosiva	96

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Cb	<i>Cumulonimbo</i>	WFS	<i>Warm Front Shield</i>
CCB	<i>Cold Conveyor Belt</i>	WV	<i>Water Vapor</i>
Cs	<i>Cirroestrato</i>		
CF	<i>Cold Front</i>		
CF in CA	<i>Cold Front in Cold Advection</i>		
EC	<i>Enhanced Cumulus</i>		
FD	<i>Front Decay</i>		
GEOS	<i>Geostationary Earth Orbital Satellite</i>		
HRV	<i>High Resolution Visible</i>		
IR	<i>Infra Red</i>		
LEOS	<i>Low Earth Orbital Satellite</i>		
MSG	<i>Meteosat Second Generation</i>		
MTG	<i>Meteosat Third Generation</i>		
RaCy	<i>Rapid Cyclogenesis</i>		
RGB	<i>Red Green Blue</i>		
VIS	<i>Visible Satellite Image</i>		
WCB	<i>Warm Conveyor Belt</i>		
WFB	<i>Warm Front Band</i>		

1. CONTEXTO

*A las doce de la noche eché mi barquita al mar, pensando que era Levante y se
volvió vendaval*

El número de observaciones de la superficie marina en los océanos del mundo es escaso. Las boyas y los buques proporcionan datos frecuentes en puntos únicos y proporcionan puntos de referencia esenciales para el diagnóstico en tiempo real de pronósticos y advertencias. Pero estas observaciones realizadas por los servicios meteorológicos se limitan al lugar donde se encuentran las boyas y los buques. El siguiente gráfico muestra como el alcance de la cobertura de datos de la superficie marina es bastante reducido.

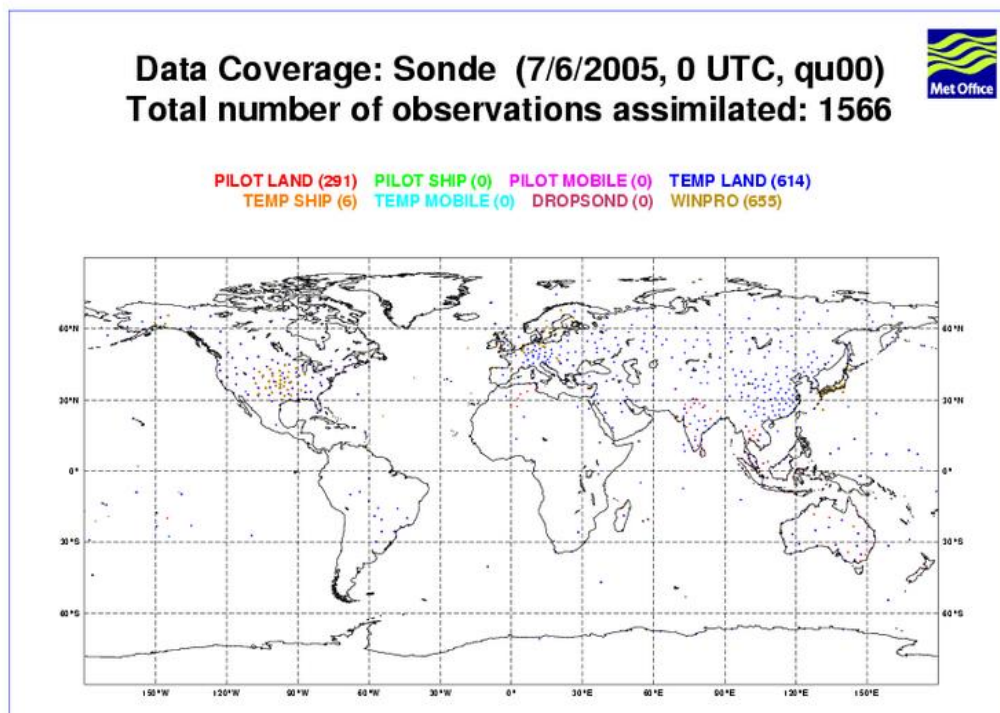


Figura 1.1: Como se puede ver, hay muchas áreas con poca o ninguna cobertura en la mar¹. Fuente: <https://www.metoffice.gov.uk/>

Se puede afirmar que un buque mercante actúa como una estación a flote independiente que obtiene datos de los boletines meteorológicos emitidos por los servicios oficiales y además recoge la información de las observaciones realizadas in situ durante la navegación. Estas observaciones se realizan de manera metódica y en forma sistemática, uniforme, ininterrumpida y a horas establecidas. El estudio de los valores registrados permite conocer las características y las variaciones de los elementos atmosféricos, los cuales

¹ Además, la cobertura de observación de buques se vuelve más limitada cuando los barcos se alejan de los temporales.

constituyen los datos básicos utilizados a bordo para el seguimiento de los desarrollos meteorológicos que afectan a la navegación.

Las observaciones realizadas por los marinos son metódicas debido a la naturaleza de su profesión. Con ayuda de los instrumentos más básicos (ver **Figura 1.2**), el marino es capaz de registrar los elementos meteorológicos que constituyen una observación sinóptica completa.



Figura 1.2: Hoy en día, aparatos como el barómetro, barógrafo e higrómetro siguen teniendo un valor inestimable a bordo para el marino. Fuente: varias

El proceso habitual que sigue el marino comienza por la transcripción del tiempo presente y la comparativa con el tiempo pasado. Como observador, registra la fracción del cielo cubierto de nubes y el tipo de nubes, la fuerza y dirección del viento, la visibilidad, la temperatura y la humedad del aire, la presión atmosférica y la tendencia barométrica.

De entre todos los elementos meteorológicos que constituyen esa observación, el viento (y los fenómenos que derivan de su efecto en la mar²) es el que más preocupa al marino desde tiempos inmemoriales. Sobre tierra, numerosas observaciones in situ proporcionan una buena descripción general de las condiciones predominantes del viento, mientras que sobre los océanos y los mares las mediciones externas del viento son raras.

Generalmente se considera que la información sobre el viento es el elemento más importante para los marinos. A ellos les interesan los cambios en la velocidad y la dirección del viento durante todo el día, en la zona en la

² En este apartado se habla del viento, pero se da por hecho que el viento es el causante del oleaje y las corrientes en la mar, fenómenos que influyen de igual manera en la seguridad y operatividad de los buques.

que viajan o realizan operaciones. Los valores críticos de velocidad del viento suelen ser, en el caso de los buques más pequeños, más bajos que en la navegación comercial, pero hasta los mayores buques son sensibles a las ráfagas y los saltos del viento, así como a la velocidad media del viento. Dado que la fuerza ejercida es proporcional al cuadrado de la velocidad del viento, los vientos extremos son especialmente críticos. Los vientos fuertes también crean condiciones laborales peligrosas para el personal que se encuentra en cubiertas expuestas.

El empleo de satélites para la observación meteorológica desde mediados del siglo pasado, revolucionó todos los campos en este sentido. Los datos y productos del viento derivados de satélites se utilizan para una amplia gama de aplicaciones en el campo de la oceanografía, la meteorología y las interacciones aire/ mar. Hoy día, aunque ningún instrumento satelital puede medir el campo de viento directamente, existen varias técnicas que pueden usarse para derivar observaciones del viento indirectamente. Todos estos datos juegan un papel importante en la asimilación de datos. Los modelos numéricos funcionan mejor con una mayor cantidad de datos de viento, especialmente sobre los océanos. De esta forma, los vientos derivados de los satélites mejoran las previsiones y avisos meteorológicos y tienen un gran impacto en la predicción inmediata marina.

La interpretación de las fotos obtenidas vía satélite se ha convertido en un método fundamental dentro del análisis meteorológico moderno. La observación del desplazamiento de las nubes a partir de las imágenes de los satélites geoestacionarios o ciertas tecnologías con las que cuentan los propios satélites (radares, dispersómetros, radiómetros etc.) permite deducir los campos viento para la realización de los análisis.

Si bien el concepto de la idea de utilizar sucesivas observaciones satelitales de las nubes para determinar la dirección y la velocidad del viento es simple, el procedimiento es bastante complejo y pasaron varias décadas antes de que los vientos derivados de satélites fueran lo suficientemente precisos como para incorporarse a los pronósticos meteorológicos. Hoy en día, to-

da la sociedad se beneficia de la mayor cobertura proporcionada por la tecnología eólica por satélite.

Otra característica de estos satélites se halla en sus sensores, de forma que la información que se puede obtener de las bandas de absorción de agua sirve de base para la metodología planteada en este trabajo³.

En resumen, el marino debe aprovechar las imágenes obtenidas por los satélites meteorológicos al ser el fiel retrato del estado de la atmósfera en un momento determinado y resultan de gran ayuda para el análisis y la previsión del tiempo.

³ En el Apartado 4 se trata este tema con más profundidad dado la importancia para poder desarrollar este trabajo.

2. OBJETIVO

- *Dígame señor piloto, dígame ¿qué viento es éste?*
- *Para Castro vendaval, para Santander nordeste*

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una metodología para la predicción meteorológica marina basada en imágenes por satélite del movimiento de las masas de aire asociado al movimiento de las nubes. Dicha metodología se considera útil a la hora de desarrollar los planes de viaje y las derrotas en el ámbito comercial marítimo. Para ello, se consideran indispensables las siguientes dos tareas:

1. La observación del desplazamiento de las nubes para deducir los campos de viento y su evolución de forma intuitiva por medio de los modelos conceptuales basado en los canales básicos de imágenes satélite empleados en meteorología
2. La comparativa de los datos de predicción (análisis) con las últimas imágenes satélite

La navegación de cabotaje a lo largo de la zona comercial de Europa y norte de África durante los últimos tres años ha permitido al autor contrastar numerosos datos e información meteorológica con el desarrollo de los fenómenos meteorológicos en la mar.

Al estar los modelos conceptuales sujetos a otros factores meteorológicos como la orografía, la latitud, escala etc. el modelado de tales eventos a nivel mundial resulta muy extenso y complejo. Así, el área de estudio se ha delimitado a la zona que afecta al Golfo de Vizcaya y se estudian solo los fenómenos que afectan negativamente a la navegación como los frentes y algunas de las partes frontales de éstos.

3. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE

Un aire tan sutil, que mata a una persona y no apaga un candil

Los satélites usados para meteorología emplean diferentes instrumentos para medir las ondas en bandas y dar información acerca de la atmósfera, almacenando los datos como valores digitales en arreglos bidimensionales de pixel.

Existen dos tipos de satélites meteorológicos: los geoestacionarios y los polares⁴.

Los geoestacionarios están situados sobre el ecuador a una altura de 36000km. Estos satélites giran alrededor del eje de la Tierra con la misma velocidad angular que ésta, lo cual hace que estén siempre en la vertical del mismo punto geográfico.

Los satélites LEOS o polares, giran en órbitas que pasan cerca de los polos a una altura de unos 800km. Estos satélites cubren zonas en las que los satélites geoestacionarios son deficitarios⁵.

De los dos tipos de satélites mencionados, los más importantes para la predicción del tiempo son los geoestacionarios dado que fotografían siempre la misma zona y, por tanto, permiten realizar el seguimiento de los sistemas nubosos.

Los satélites GEOS están dotados de sensores que captan la radiación proveniente del sistema tierra-atmósfera ya sea radiación visible reflejada por el sistema o radiación infrarroja emitida por él mismo. Las zonas del espectro electromagnético, canales, con los que se trabaja son tales que la radiación se ve altamente afectada por la presencia de nubes y de vapor de agua, hecho que permite obtener una imagen de la distribución cualitativa y cuantitativa de dichos elementos en la atmósfera.

Los satélites Meteosat, son una serie de satélites meteorológicos geoestacionarios construidos y lanzados por la Agencia Espacial Europea, que opera y desarrolla la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT). Se encuentran en órbita geoestacionaria por encima del océano Atlántico y proporcionan información meteorológica a

⁴ http://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits

⁵ Son útiles para cubrir las zonas de latitudes altas a partir de los 70° especialmente.

África y Europa. Por lo tanto, las imágenes utilizadas en este trabajo se tratan de imágenes Meteosat.

La Agencia Espacial Europea diferencia dos generaciones⁶ de Meteosat, encontrándose en activo la segunda con los satélites Meteosat-8⁷, Meteosat-9, Meteosat-10 y Meteosat-11 (este último lanzado el 15 de julio de 2015).

Las imágenes satelitales permiten pues obtener información meteorológica, para distintos usos. El usuario u observador que interpreta la imagen satelital con el objeto de realizar análisis, necesita de un entrenamiento teórico-práctico de forma que esos análisis sean lo más acertados posible conforme al tiempo que ha dedicado a su preparación. Dicha preparación, consta de diferentes puntos como la identificación de sistemas frontales, los patrones nubosos asociados a éstos, la clasificación básica de los tipos de nubes y su movimiento y la monitorización de la evolución de los fenómenos meteorológicos etc. Es una vez adquirida cierta experiencia cuando el usuario puede comenzar a estudiar patrones y fenómenos asimilados que es capaz de relacionar para poder realizar una predicción más o menos fiable.

⁶ La tercera generación de Meteosat se encuentra en desarrollo desde el 2008

⁷ http://www.aemet.es/eu/noticias/2004/MSG_1

4. METODOLOGÍA

La tramontana no tiene abrigo, ni el hombre pobre amigo

La elaboración de un plan de viaje debería seguir una metodología para la predicción meteorológica marina basada en imágenes por satélite del movimiento de las masas de aire asociado al movimiento de las nubes de la siguiente forma propuesta⁸:



Figura 4.1: Diagrama de la metodología propuesta

⁸ En algunos de los apartados se expone una lista de webs recomendadas para cada materia.

5. INTERPRETACIÓN DE CANALES DE IMÁGENES SATÉLITE UTILIZADOS EN METEOROLOGÍA

Borregos a mediodía, carneros al otro día

Este apartado se trata de una ayuda a la hora de interpretar las imágenes satélite con el objeto de formar una base conceptual del significado de los diferentes tonos y colores reflejados en ellas. Los nombres de estas diferentes imágenes se refieren a qué parte del espectro electromagnético están muestreando los sensores satelitales. Resulta que la atmósfera es transparente a diferentes tipos de radiación en ciertas áreas del espectro (se habla de ventanas o canales atmosféricos), pero los radiómetros de satélite pueden ver en una amplia gama de ventanas de radiación electromagnética.

5.1 LAS BANDAS PRINCIPALES Y LOS CANALES COMPUESTOS⁹

Las bandas de absorción de agua de Meteosat (ver *Figura 5.1*) son un ejemplo de cada una de estas posibilidades.

Las dos ventanas atmosféricas más utilizadas son los canales visible (0.6m de longitud de onda) e infrarrojos (10 a 12 micrones). Al estudiar la troposfera superior también se utiliza el canal de vapor de agua, que incluye radiación entre 6.5 y 6.9m. El vapor de agua y las nubes altas absorben la radiación en esta región espectral, de modo que la superficie de la tierra y las nubes bajas casi se oscurecen en las imágenes de vapor de agua.

La combinación de estas tres bandas, denominadas también canales básicos, permite distinguir cinco elementos fundamentales para el análisis posterior:

1. Tierra de océano, por su diferente albedo¹⁰ y temperatura
2. Temperatura de la superficie terrestre sin cubierta nubosa
3. Nubes bajas (albedo muy alto, temperatura moderada, contenido en vapor de agua moderado)
4. Nubes altas (albedo muy alto, temperatura muy baja, contenido en vapor de agua moderado)

⁹ <https://view.eumetsat.int/productviewer/productDetails/>

¹⁰ Recordar que la definición de albedo en física, refiriéndose al porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre ella.

5. Nubes de desarrollo vertical (albedo muy alto, temperatura muy baja, contenido en vapor de agua elevado)

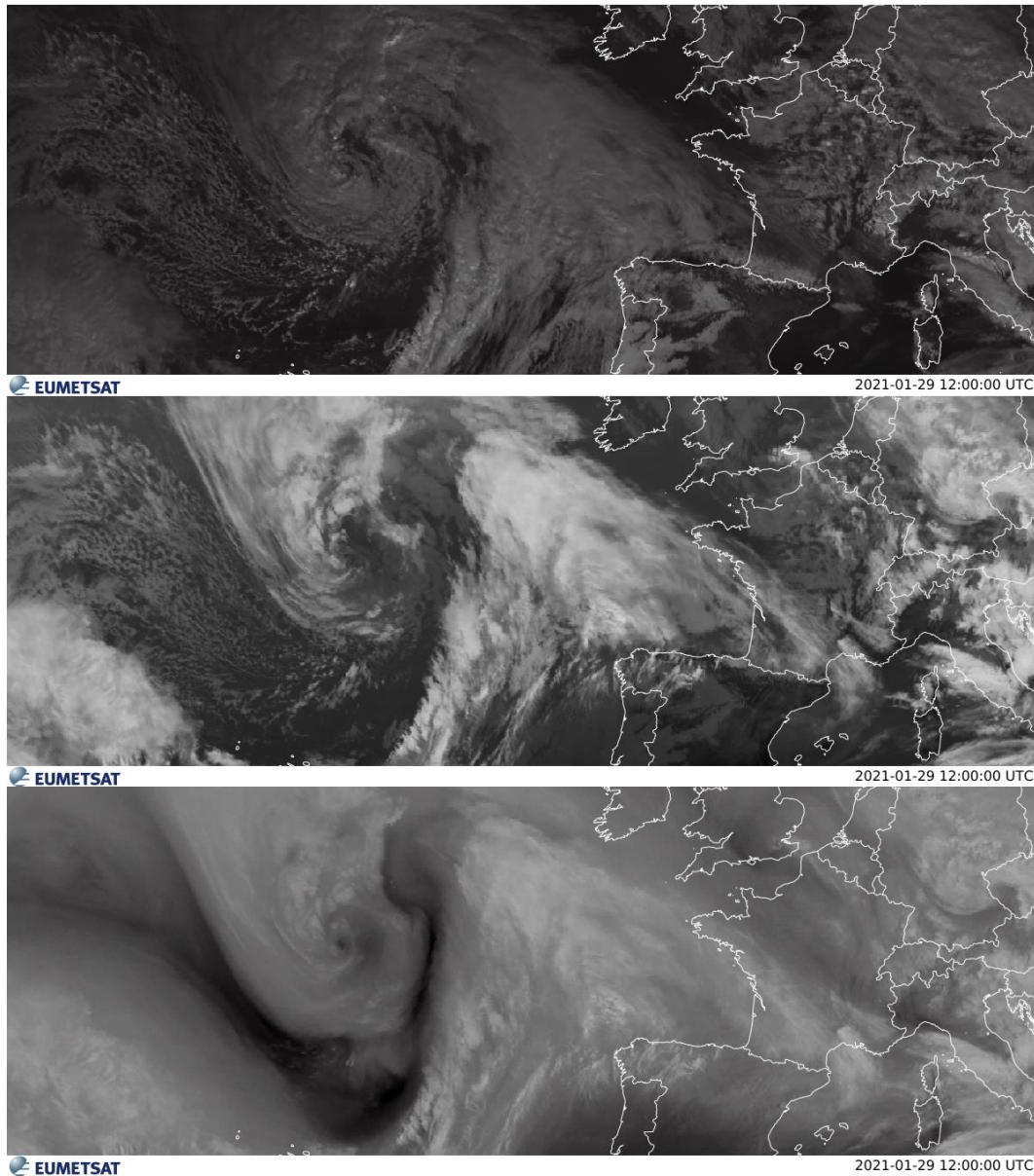


Figura 5.1: Las imágenes satelitales de una borrasca en el Atlántico norte en diferentes canales pueden proporcionar mucha información de interés meteorológico (de arriba abajo imagen VIS0.6m, imagen IR10.8m e imagen WV6.2m). Fuente:

<https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>

5.1.1 Imagen visible (VIS)

La imagen visible capta radiación solar reflejada integrando todas las longitudes de onda del visible y parte del infrarrojo reflejado (0.5-0.9m), cuan-

to mayor sea el valor recibido por el sensor mayor es el albedo, visualizándose colores más claros.

En el espectro solar u onda corta, se produce muy poca absorción en la región espectral visible; la dispersión de la luz, sin embargo, es grande. Una imagen de satélite visible representa la luz solar dispersada por objetos suspendidos en la atmósfera o en la Tierra (con el inconveniente de que las imágenes visibles solo están disponibles durante el día). Las diferencias en la radiación reflejada de las nubes, el agua, la tierra y la vegetación nos permiten distinguir estas características en las imágenes.

Las áreas oscuras en una imagen de satélite visible representan regiones geográficas donde solo pequeñas cantidades de luz solar visible se reflejan en el espacio. Las áreas blancas indican nubes, mientras que los tonos grises indican cielos generalmente despejados. Los océanos suelen ser oscuros, mientras que la nieve y las nubes espesas son brillantes.

El **brillo** de una nube en la imagen visible está determinado por la altura de la cima de una nube, el grosor total y la cantidad de gotas de agua o cristales de hielo en su interior.

5.1.2 Imagen infrarrojo (IR)

La imagen del infrarrojo térmico capta radiación emitida por la Tierra (5.7-7.1m) que, por tanto, depende de su temperatura. A mayor temperatura, mayor energía recibida, reflejándose en colores más oscuros.

Todos los objetos emiten radiación en cantidades relacionadas con su temperatura y su capacidad para emitir radiación. Un instrumento de IR proporciona información sobre la temperatura de la tierra, el agua y las nubes midiendo la radiación infrarroja emitida por las superficies debajo del satélite. La energía radiante medida por radiómetros infrarrojos se convierte en temperatura. En las imágenes infrarrojas, los objetos fríos son blancos y las superficies calientes aparecen negras.

Las imágenes IR se pueden utilizar para distinguir nubes bajas de nubes altas. Las **nubes bajas** son relativamente cálidas y aparecen grises en las imágenes de infrarrojos de satélite. Las **nubes más altas** o frías y espesas, como las **cimas de las tormentas**, aparecen de un blanco brillante. Una ventaja obvia de las imágenes de satélite de infrarrojos sobre las imágenes visibles es que las imágenes de infrarrojos están disponibles día y noche.

5.1.3 Imagen vapor de agua (WV)

La imagen del vapor de agua, capta energía en la longitud de onda en que mayor es la absorción del vapor de agua; por tanto cuanto mayor sea la cantidad de vapor de agua presente en la columna atmosférica menor es la cantidad de energía que capta el sensor y los colores se muestran más claros.

Las imágenes de vapor de agua son una herramienta valiosa para el análisis y la previsión meteorológica, ya que representan los patrones de flujo de la troposfera superior. El vapor de agua es transparente a la radiación en longitudes de onda visibles y de 10-12 micrones. Esta es la razón por la que se utilizan imágenes de satélite visibles e infrarrojas para observar las características de la superficie y las nubes. Sin embargo, el vapor de agua es un absorbente y emisor de radiación muy eficiente con longitudes de onda entre 6,5 y 6,9 micrones. Por lo tanto, los radiómetros satelitales que miden la cantidad de radiación emitida por la atmósfera en estas longitudes de onda pueden usarse para detectar vapor de agua en la atmósfera. La imagen de satélite de vapor de agua muestra la concentración de vapor de agua en la capa atmosférica entre 600 y 300hPa, o aproximadamente 4000 a 9000m sobre la superficie de la tierra. Esta es la parte media y superior de la troposfera, una región clave para el desarrollo y crecimiento de las tormentas.

En las imágenes de vapor de agua, el **negro** indica bajas cantidades de vapor de agua y el **blanco** lechoso indica altas concentraciones. El blanco brillante corresponde a nubes altas. Las imágenes de vapor de agua proporcionan información en todas las regiones, incluso en aquellas que carecen de nubes.

5.1.4 Imágenes RGB¹¹

La combinación de los canales básicos en las imágenes satélite brinda información diferente, y las combinaciones de canales revelan más información y características de la superficie y la atmósfera de la Tierra que los canales individuales por sí solos.

Existen dos formas de aprovechar mejor las imágenes de satélite:

- Imágenes satelitales mejoradas
- Presentación RGB (rojo, verde, azul)

Este trabajo se centrará más en la segunda forma, al tener una utilidad directamente relacionada con la metodología planteada.

Las primeras combinaciones de RGB se desarrollaron para discriminar nubes bajas de nubes medias y altas en satélites de órbita polar. Con el paso del tiempo, varios institutos y servicios meteorológicos desarrollaron una gran cantidad de productos RGB diferentes.

Con la creación de la Segunda Generación Meteosat o MSG y sus 12 canales, cada uno con sus propias cualidades únicas, se desarrolló una serie de RGB estandarizados.

Los tres colores rojo, verde y azul se asignan para tres canales MSG o, si corresponde, diferencias de canal. Todos los demás colores se generan como una combinación de estos tres colores básicos. La elección entre canales y las diferencias de canales depende de las funciones que se buscan.

Masas de aire en RGB

El producto Masas de aire es un compuesto RGB basado en datos de los canales infrarrojos y de vapor de agua del instrumento SEVIRI¹². Está diseñado y ajustado para monitorear la distribución de diferentes masas de aire y ayudar a analizar los procesos dinámicos en la atmósfera como la evolución

¹¹ http://www.eumetrain.org/rgb_quick_guides/

¹² El *Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager* o generador giratorio de imágenes infrarrojo y visible mejorado es el instrumento principal de MSG y tiene la capacidad de observar la Tierra en 12 canales espectrales. <https://www.eumetsat.int/seviri>

de ciclones, en particular ciclogénesis explosiva, líneas en chorro y anomalías de vorticidad potencial o líneas de deformación así como los sistemas de nubes frontales y el aire estratosférico seco descendente detrás de ellas.

Debido a la incorporación de los canales de vapor de agua y ozono, su uso en los ángulos de visión satelital más altos es limitado. Se puede utilizar de día y de noche durante todo el año, sus colores no cambian con las estaciones. Este producto en RGB se compone de datos de una combinación de los canales SEVIRI WV6.2, WV7.3, IR9.7 e IR10.8. Utiliza los dos canales de absorción de ozono y vapor de agua.

Tabla 5.1: La siguiente tabla muestra la naturaleza de los tres canales empleados en el producto de Masas de aire en RGB. Fuente: elaborado a partir de http://www.eumetrain.org/rgb_quick_guides/

COLOR	CANAL	RELACIÓN FÍSICA	CONTRIBUCIÓN SECUNDARIA	CONTRIBUCIÓN PRIMARIA
Rojo	WV6.2–WV7.3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distribución vertical del vapor de agua ▪ Nubes de nivel medio y alto 	Humedad (nubes) de nivel medio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Niveles superiores secos ▪ Nubes altas
Verde	R9.7–IR10.8	Altura de las nubes en todos los niveles de la tropopausa	Masas de aire polar (ricas en ozono)	Masas de aire tropical (pobres en ozono)
Azul	WV6.2	Contenido de vapor de agua en la capa superior (nubes altas)	Niveles superiores secos	Humedad en niveles superiores

La siguiente tabla enumera las ventajas e inconvenientes de este compuesto:

Tabla 5.2: Pros y contras del empleo de imágenes de Masas de aire en RGB. Fuente: elaborado a partir de http://www.eumetrain.org/rgb_quick_guides/

VENTAJAS	LIMITACIONES
Indica la posición de las corrientes de chorro y las zonas de deformación.	Si la temperatura de la superficie es muy baja en áreas libres de nubes, la contribución del rayo verde es muy grande. Esto da como resultado un color verde oliva con una masa de aire polar en lugar de un color azulado.
Indica aire seco estratosférico descendente (por ejemplo, detrás de frentes fríos y en el centro de ciclones / niveles superiores).	Mientras que las nubes de nivel alto y medio son fáciles de monitorear, las nubes de nivel bajo son difíciles de identificar
distingue entre masas de aire frías y cálidas (polar / tropical) a través de la evaluación del contenido de la ozono en el canal IR9.7.	Los tonos rojizos pueden ser muy oscuros en áreas sin subsidencia. Esto se debe a que el aire está muy caliente y seco (por ejemplo sobre los desiertos).
Ayuda a detectar posibles anomalías de la vorticidad y la ciclogénesis relacionada	Las nubes muy bajas no se pueden distinguir muy bien
Discrimina nubes de nivel medio y alto	
Evalúa la cantidad de humedad de la troposfera superior (el color verde intenso y brillante indica una humedad más alta).	

Tabla 5.3: Interpretación de los colores mostrados en las imágenes de Masas de aire en RGB. Fuente: elaboración propia

MASAS DE AIRE	NUBES
Masa de aire polar fría rica en ozono	Nubes gruesas de alto nivel
Masas de aire tropical cálidas y pobres en ozono (alta humedad de la troposfera superior)	Nubes de hielo y agua de nivel medio
Masas de aire cálido con baja humedad troposférica superior	Nubes de nivel bajo: azulado en los polos y verdoso en las masas de aire tropicales
Masas de aire seco (que indican, por ejemplo, aire en descenso, anomalías fotovoltaicas y la posición de las corrientes en chorro)	

Polvo en RGB

Se trata de un compuesto RGB diseñado para monitorear la evolución de las tormentas de polvo durante el día y la noche. Pero también es útil para la discriminación de tipos de nubes (por ejemplo, detección de cirros delgados) y detección de niveles bajos de humedad. Se compone de datos de una combinación de los canales SEVIRI IR8.7, IR10.8 e IR12.0

El polvo puede ser difícil de ver en las imágenes VIS e IR, porque se asemeja a otros tipos de nubes, como los cirros. El producto RGB Polvo aplica técnicas de resta de bandas y el canal IR térmico para diferenciar el polvo atmosférico de las nubes meteorológicas. La diferencia de bandas IR permite observar las tormentas de polvo tanto de día como de noche. El producto RGB también permite distinguir entre el polvo y las superficies terrestres calientes, como los desiertos, y los océanos, más fríos, y permite seguir el movimiento de las tormentas de polvo sobre el mar. En escenas nubladas, permite inferir la altura de los topes nubosos, así como la fase dominante y el espesor de las nubes.

Tabla 5.4: La siguiente tabla muestra la naturaleza de los tres canales empleados en el producto Polvo en RGB. Fuente: elaborado a partir de http://www.eumetrain.org/rgb_quick_guides/

CO-LOR	BANDA	RAN-GO	RELACIÓN FÍSICA	CONTRIBU-CIÓN SECUN-DARIA	CONTRIBU-CIÓN PRIMARIA
Rojo	12.3-10.3m	-6.7 a 2.6°C	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espesor óptico ▪ Espesor de nubes 	Nubes delgadas	Nubes gruesas o polvo
Verde	11.2-8.4m	-0.5 a 20.0°C	Fase de las partículas	Hielo y partículas uniformes (polvo)	Partículas de agua o cirros delgados sobre desiertos
Azul	10.3m	-11.95 a 15.55°C	Temperatura de la superficie	Superficies frías	Superficies cálidas

La siguiente tabla enumera las ventajas e inconvenientes de este compuesto:

Tabla 5.5: Pros y contras del empleo de imágenes del Polvo en RGB Fuente: elaborado a partir de http://www.eumetrain.org/rgb_quick_guides/

VENTAJAS	LIMITACIONES
<i>Permite separar el polvo atmosférico de las nubes circundantes, tanto de día como de noche.</i>	<i>Las nubes en niveles altos pueden ocultar el polvo atmosférico debajo de ellas y dificultar su análisis espacial.</i>
<i>Permite establecer la altura del polvo (solo en condiciones nocturnas).</i>	<i>El espesor de la capa de polvo a menudo es una incógnita.</i>
<i>Se puede emplear para analizar los tipos de nubes y su altura; inferir límites entre masas de aire y diferencias en la humedad (baja o alta); identificar cenizas volcánicas (tonos naranja/durazno)</i>	<i>Los estratos marinos sobre el océano en las regiones tropicales tienen un color morado claro similar al del polvo, especialmente por la noche.</i>

Tabla 5.6: Interpretación de los colores mostrados en las imágenes de Polvo en RGB. Fuente: elaboración propia

NUBES	OTROS
<i>Nubes de polvo</i>	<i>Superficie desértica (de día)</i>
<i>Nubes de agua cálidas y bajas o capas espesas de polvo</i>	
<i>Nubes espesas, niveles medios</i>	
<i>Nubes delgadas, niveles medios</i>	
<i>Nubes espesas frías</i>	
<i>Nubes de hielo altas y delgadas</i>	
<i>Nubes muy delgadas sobre superficies cálidas</i>	

5.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE NUBES¹³

Básicamente el contraste general entre escenas (o píxeles), el contraste en VIS debido a diferencias de albedo y el contraste en IR debido a diferencias de temperatura, permite la discriminación de los tipos de nubes en imágenes de satélite.

¹³ https://cimss.ssec.wisc.edu/satmet/modules/4_clouds/clouds-11.html#tag

Características como el brillo, la textura debido a las sombras (nubes de tipo liso, abultado, fibroso)¹⁴, el patrón de forma (bandas, lineal, circular, celular), la definición del borde (agudo, difuso), el tamaño y la forma individual son otra de las bases fundamentales en la ayuda para el reconocimiento de nubes.

Para la mayoría de las nubes, el proceso de enfriamiento¹⁵ es un movimiento vertical hacia arriba. Las dos formaciones de nubes principales se encontrarán en atmósferas diferentes:

- En atmósferas estables, donde el movimiento del aire ascendente es lento, suave y a gran escala, aparecerán nubes de tipo estratiforme¹⁶;
- En atmósferas inestables, la formación de burbujas de aire ascendentes vigorosas (térmicas), corrientes ascendentes fuertes y concentradas rodeadas por áreas más grandes sin nubes de aire que se hunde, se formarán nubes del tipo cumuliforme.

A continuación, se enumeran varios consejos útiles a la hora de identificar los patrones nubosos por medio de las imágenes por satélite:

1. Dado que la temperatura tiende a disminuir con la altura en la troposfera, en las imágenes IR, las nubes de los niveles superiores serán muy blancas, mientras que las nubes más cercanas a la superficie no serán tan blancas. Si las nubes cercanas a la superficie tienen la misma temperatura que la superficie terrestre, puede ser difícil distinguir entre nube y tierra/ mar;
2. Si la nube es de color blanco brillante en el infrarrojo, entonces es una nube alta o tiene una parte superior de la nube que se desarrolla en lo alto de la troposfera;
3. Si una nube es de color blanco brillante en el visible pero no es brillante o es difícil de apreciar en el infrarrojo, es probable que se trate de una

¹⁴ Esto solo en imágenes VIS.

¹⁵ No está de más recordar que las nubes se forman cuando una masa de aire se enfría hasta su punto de rocío.

¹⁶ En el caso de la niebla, no se requiere proceso de levantamiento, sino de enfriamiento, que puede ser por radiación o advección a través de una superficie fría.

- nube que está cerca de la superficie de la tierra. Esto puede suceder cuando hay una capa gruesa de niebla o estratos cerca de la superficie;
4. Las tormentas eléctricas mostrarán un color blanco brillante tanto en el visible como en el infrarrojo. Una nube espesa será de color blanco brillante en la parte visible y la parte superior de las nubes frías mostrará un blanco brillante en el infrarrojo. En este caso, se recomienda buscar otras características para asegurarse de que sea una tormenta eléctrica, como la explosión del yunque, la parte superior que se sobrepasa y la textura extrema en las imágenes visibles;
 5. Si una nube no es muy blanca a la vista, es probable que sea una nube delgada. Si una nube no es muy blanca en el infrarrojo, es probable que se trate de una nube cerca de la superficie o de una nube muy fina;
 6. Cuando el sol está a punto de ponerse, las nubes no se verán blancas en las imágenes visibles debido a la menor reflexión;
 7. Las nubes de aspecto tenue en el visible que son muy blancas en el infrarrojo son probablemente nubes de alto nivel, como cirros o nubes de gran desarrollo vertical;
 8. Los cúmulos tienen una textura grumosa y los estratos tienen una textura plana, especialmente en infrarrojos. Los cirros tienden a ser delgadas y aparecen blancos en el infrarrojo.

5.2.1 Las nubes bajas

Para los niveles medio y bajo de la troposfera se espera encontrar nubes poco tenues y de un blanco no muy brillante, indicación de que las nubes no son muy espesas.

Hay que tener en cuenta que los dos tipos comunes de nubes bajas, los estratos y los cúmulos, se someten a procesos muy diferentes para convertirse en nubes.

La apariencia abultada de las nubes en el canal visible sugiere que las nubes son del tipo cúmulos y estratocúmulos. Dado que las nubes no son tenues ni de un blanco muy brillante como las nubes de tormenta, esto sugiere que las nubes no son muy espesas y, por lo tanto, se encuentran dentro de los niveles medio y bajo de la troposfera.

Cúmulos:

Los cúmulos convectivos desarrollan perfiles hinchados en forma de algodón fáciles de distinguir en las imágenes de satélite VIS. Muestran un brillo medio.

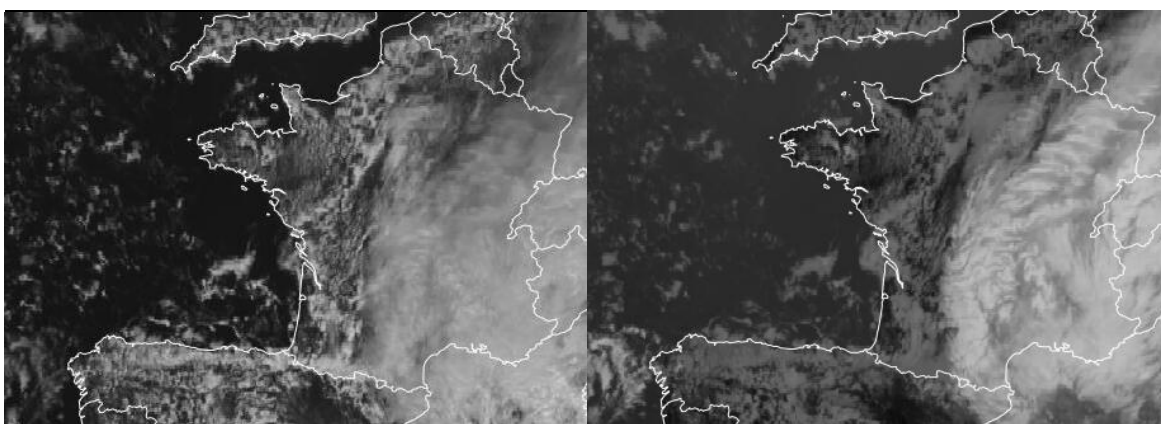


Figura 5.2: 1 de mayo de 2021 / 12.00 UTC - Cúmulos sobre el Golfo de Vizcaya. Imagen VIS0.6 (izda.) e imagen IR10.8 (dcha.). Fuente:

<https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>

Las nubes pequeñas e individuales pueden ser más difíciles de detectar en IR. Su tono es más oscuro a gris medio.

Estratos:

Los estratocúmulos se forman cuando la atmósfera tiene fuerzas convectivas y advectivas al mismo tiempo. A menudo ocurren en una capa poco profunda de aire inestable cerca de la superficie que está cubierta por aire estable. Es habitual encontrarlos en compañía de los frentes fríos. Cuando se los asocia con un sistema frontal, los estratocúmulos suelen ser la última nube que aparece antes de que se despeje el cielo.

La niebla son esencialmente nubes estratos a nivel de la superficie. Es más fácil de representar en imágenes de satélite visibles sobre la tierra, por-

que la tierra alrededor de la niebla es más oscura y cálida, mientras que la niebla es más fría y de un blanco lechoso. La parte superior de la niebla aparece suave en una imagen visible, mientras que los bordes pueden aparecer nítidos a medida que se adaptan al terreno, como montañas o valles fluviales.

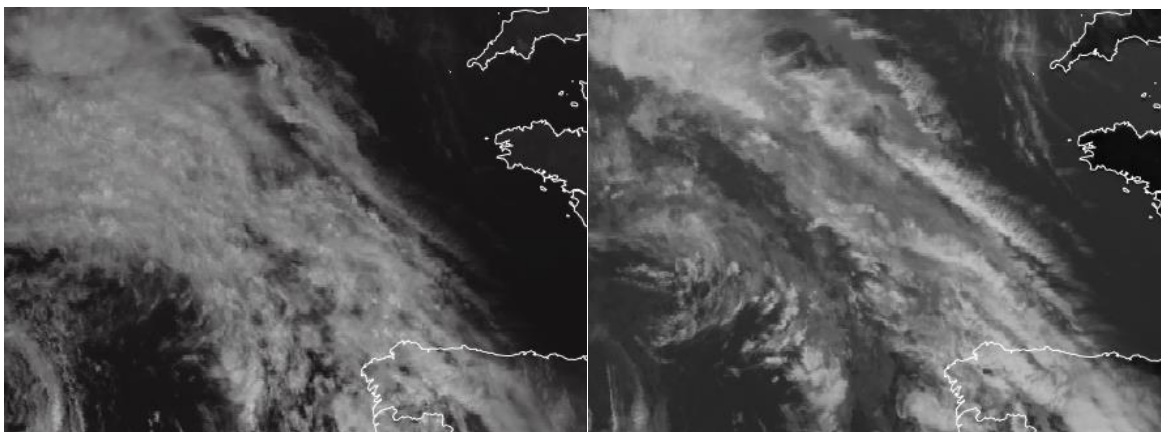


Figura 5.3: 23 de abril de 2021 / 12.00 UTC – Estratocúmulos sobre el Golfo de Vizcaya. Imagen VIS0.6 (izda.) e imagen IR10.8 (dcha.). Fuente:

<https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>

Nimbostratos:

Por lo general, el nimbostrato es un signo de precipitación constante de moderada a fuerte, a diferencia del período más corto de precipitación típicamente más pesada liberada por una nube de cumulonimbos. Sin embargo, las condiciones locales pueden hacer que el nimbostrato se convierta rápidamente en una tormenta.

Cumulonimbos:

Para este tipo de nubes que pueden llegar a alcanzar un gran desarrollo vertical se espera encontrar patrones de forma a través de sombras (especialmente cuando la altura del sol es baja) y texturas brillantes en las imágenes VIS.

Las imágenes IR muestran zonas muy brillantes, especialmente en áreas de cúmulos con un desarrollo vertical de gran actividad.

5.2.2 Las nubes de nivel medio

Altoestratos y altocúmulos:

Se desarrollan cuando las capas medias de la atmósfera están húmedas y se levantan lentamente. Por lo general, aparecen como una hoja gris oscura plana y sin rasgos distintivos.

La presencia de nubes altocúmulos en el cielo significa que la convección está ocurriendo a bastante altura.

5.2.3 Las nubes de nivel alto

Cirros:

Los cirros son delgados y tenues. Se trata de un tipo de nube común asociada con todos los sistemas meteorológicos que se produce en movimientos verticales antes de los patrones climáticos a gran escala. A menudo ocurren como volutas alineadas en la misma dirección y generalmente no cubren completamente el cielo.

Cirrocúmulos y cirroestratos:

Generalmente con cimas suaves y uniformes, pueden formar largas bandas fibrosas o capas extensas.

En las imágenes VIS presentan tonos grises claros que aumentan de claridad en función del espesor.

Puede ser difícil diferenciarlas de las nubes de nivel medio a través de las imágenes IR. Presentan tonos blancos a grises claros.

**6. OBSERVACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE LOS CAMPOS DE
VIENTO Y LAS NUBES: LOS MODELOS CONCEPTUALES**

El tiempo y la marea ni se paran ni esperan

La evaluación físico-meteorológica de una combinación de datos y descripciones de estructuras de imágenes tan diferentes como mediciones puntuales de observaciones sinópticas distribuidas irregularmente y campos de parámetros numéricos en una cuadrícula definida no es una tarea sencilla. Sin embargo, existe una herramienta que ya se utiliza ampliamente en la investigación y operaciones sinópticas: el modelo conceptual.

Un modelo conceptual describe las características esenciales de un fenómeno meteorológico e identifica los principales procesos que tienen lugar en él, proporcionando la siguiente información:

- Definición del fenómeno en términos de características reconocibles por observaciones, análisis o simulaciones validadas;
- Descripción de su ciclo de vida en términos de apariencia, tamaño, intensidad y clima acompañante;
- Enunciado de los procesos físicos controladores que permite comprender los factores que determinan el modo y la velocidad de evolución del fenómeno;
- Especificación de los campos meteorológicos clave que demuestren los procesos principales;
- Orientación para condiciones o situaciones meteorológicas pronosticadas utilizando los campos de diagnóstico y pronóstico que mejor discriminan entre desarrollo o no desarrollo y orientación para predecir el desplazamiento y la evolución.

En este trabajo, se van a tratar solo seis de los más de dos docenas de modelos conceptuales que existen en la bibliografía:

6.1 FRENTE FRÍO

Los frentes generalmente se forman dentro de un límite baroclínico entre masas de aire frío y caliente. El principal proceso físico para el desarrollo

de los frentes fríos es el movimiento del aire frío contra el aire caliente¹⁷ dentro de un desarrollo de frente polar clásico. El aire cálido asciende a lo largo del límite mientras que el aire frío se hunde debajo de él. Si hay suficiente humedad, el movimiento ascendente conduce a la condensación y al desarrollo de nubes y precipitación.

En las imágenes de satélite, los frentes fríos aparecen como bandas de nubes de escala sinóptica curvadas ciclónicamente.

Imágenes IR y VIS:

Las nubes varían entre el blanco y las tonalidades de gris variables, según su subestructura y estado de desarrollo.

Imágenes WV:

La banda de nubes es gris claro con algunas manchas o rayas blancas que indican nubes más gruesas incrustadas.

En el Meteosat 8 0,6; 0,8; 12.0 las nubes altas combinadas aparecen azuladas, nubes gruesas multicapa blancas o gris claro y nubes bajas amarillas. En Meteosat 8 1.6; 0,8; 0.6 las nubes de hielo combinadas son cian y las nubes de agua grises.

Los frentes fríos se pueden dividir en dos subgrupos: frentes anabáticos y catabáticos. La característica principal que separa los diferentes tipos de FF es la orientación del chorro con respecto al frente en los niveles medio y superior de la troposfera:

1. En el caso de un frente frío anabático, el eje del chorro y la intrusión seca son paralelos a la banda de nubes frontal y forman un borde posterior de nubes bien pronunciado.
2. En el caso del catabático, el eje del chorro cruza la banda de nubes frontal.

¹⁷ Para ilustrar la mayor velocidad del frente frío (trasero) con respecto al cálido (delantero), al meteorólogo Mariano Medina se le ocurrió la analogía de un galgo persiguiendo a una liebre, que explicó e ilustró en su exitoso primer libro "El tiempo es noticia" (Ediciones Cid, 1964).

Generalmente se considera que un FF catabático evoluciona de un FF anabático. Como las perturbaciones baroclínicas a menudo se desarrollan sobre el Atlántico, en la mar se encuentran los frentes anabáticos, mientras que los frentes continentales más antiguos son en su mayoría de tipo catabático. Otra razón de las diferencias espaciales podría ser que las partes inferiores del frente se desaceleran debido a la fricción del continente en la zona estudiada, mientras que las partes superiores continúan con mayor velocidad.

Estos tipos muestran una estructura ligeramente diferente en las imágenes de satélite, pero por lo mencionado anteriormente, los de tipo anabático se consideran más importantes para el trabajo ya que se espera detectarlos en el Atlántico:

6.1.1 Frente Frío Anabático

Los frentes fríos anabáticos generalmente muestran apariencia de transición de tonos suave.

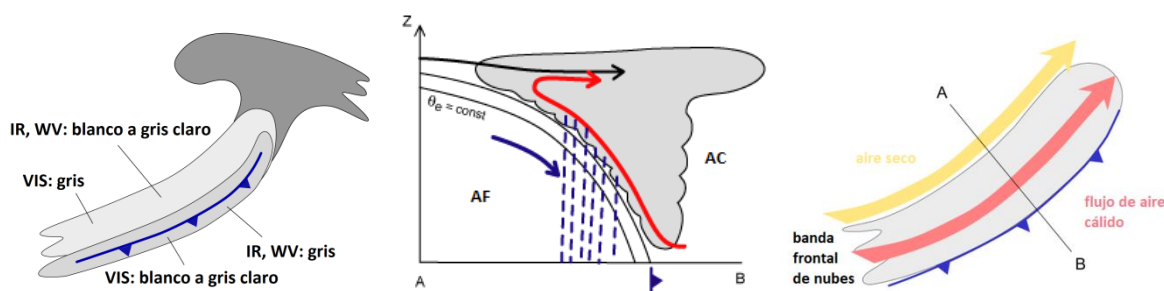


Figura 6.1: Esquemas de colores de las imágenes satélite IR, VIS y WV para frentes fríos de tipo anabático (izda.). Las otras dos imágenes esquematizan la teoría clásica (centro) y de corrientes de aire (dcha.) que explican dicho fenómeno. Fuente: elaboración propia a partir de

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Imágenes IR y WV:

En las imágenes IR y WV, el área más brillante es desde el borde posterior hasta la parte media de la banda de nubes, lo que indica cimas de nubes frías y altas, a menudo con CB incrustados.

Imágenes VIS:

El área más brillante es desde el borde de ataque hasta la parte media de la banda de nubes, lo que indica nubes de agua más bajas.

Masas de aire en RGB:

Aparecen colores azul o verde delante de la banda de nubes, representando las masas de aire frío o cálido delante de los frentes fríos (principalmente dependiendo de que el sitio geográfico se encuentre en latitudes más al sur o al norte); en la parte posterior de la banda de nubes aparecen colores azul y marrón, que se extienden desde el noroeste hasta una posición paralela a la banda de nubes. Estos colores representan el aire frío y seco que se hunde detrás del frente frío.

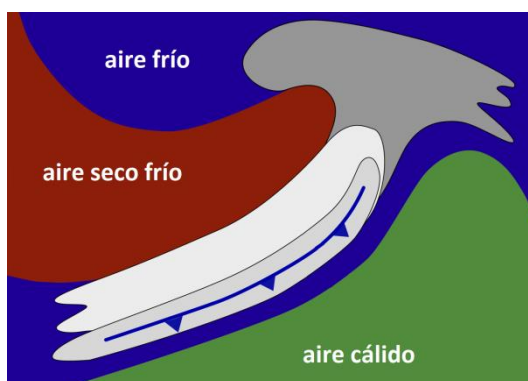


Figura 6.2: Ilustración esquemática de colores y formas de las imágenes satélite de las Masas de aire RGB para frentes fríos de tipo anabático. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

La banda de nubes en sí se ve muy similar a su apariencia en la imagen IR.

Imágenes polvo RGB:

Las áreas delante y detrás de la banda de nubes son de color azul claro o rosado, que representan áreas libres de nubes; sin embargo, estas áreas generalmente contienen características de nubes como nubosidad de aire frío en la depresión detrás de la banda de nubes del frente frío o nubosidad en la cresta de espesor frente a la banda de nubes frontal.

La banda de nubes está dominada por colores rojo oscuro que representan espesas nubes de hielo con cimas frías; estas nubes rojo oscuro pueden ser uniformes o estructuradas; en el último caso, los colores amarillo a marrón claro representan un nivel medio de nubosidad en la parte inferior. A menudo hay una raya negra en el borde trasero que representa una fibra de nube alta en el eje del chorro.

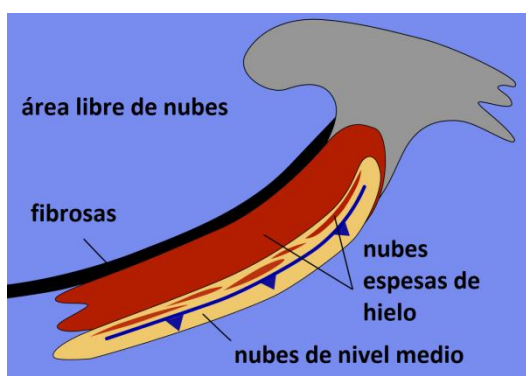


Figura 6.3: Ilustración de colores y formas de las imágenes satélite del canal RGB Polvo para frentes fríos de tipo anabático. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Tabla 6.1: Resumen de la apariencia típica de un frente frío de tipo anabático en los canales principales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html

IR	- Colores más brillantes en la parte trasera de la banda
HRV	- Colores más brillantes en la parte delantera de la banda
WV	- Gris claro con estructuras más brillantes incrustadas y una franja oscura en la parte posterior y paralela a la banda de nubes
RGB	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Masas de aire:</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Colores verdosos delante de la banda de nubes representando masas de aire cálido y colores azules detrás de la banda de nubes representando masas de aire frío ▪ Franja marrón ancha en la parte posterior y paralela a la franja de nubes que representa el aire frío y seco - <u>Polvo:</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Colores rojo oscuro (nube de hielo espesa) y colores ocre (nube de agua de nivel medio) en la parte delantera de la banda y donde se rompe el área rojo oscuro; ▪ Rayas negras (fibras de nubes altas) en los bordes delantero y trasero

6.1.2 Frente Frío Catabático

Los frentes fríos catabáticos muestran una apariencia estructurada.

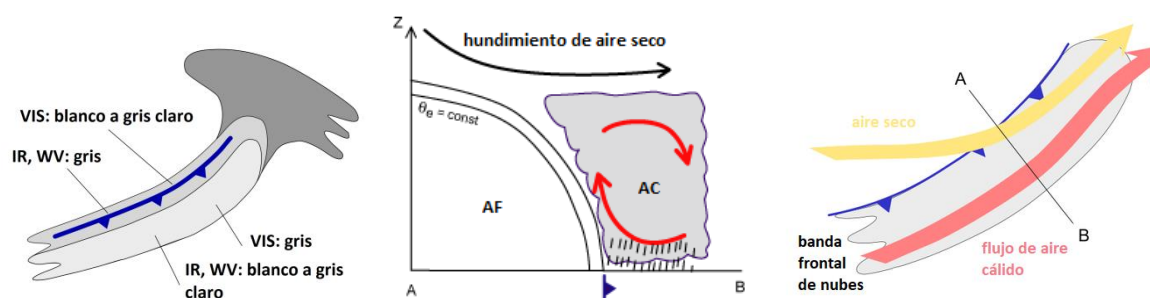


Figura 6.4: Esquemas de colores de las imágenes satélite IR, VIS y WV para frentes fríos de tipo catabático (izda.). Las otras dos imágenes esquematizan la teoría clásica (centro) y de corrientes de aire (dcha.) que ayudan a explicar dicho fenómeno.

Fuente: elaboración propia a partir de

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Imágenes IR y WV:

En las imágenes IR y WV, el área más brillante es desde el borde de ataque hasta la parte media de la banda de nubes, lo que indica cimas de nubes frías y altas, a menudo con CB incrustados.

Imágenes VIS:

El área más brillante es desde el borde posterior hasta la parte media de la banda de nubes, lo que indica nubes de agua más bajas.

Masas de aire en RGB:

En la parte trasera de los frentes, el aire frío que sobresale hacia abajo aparece como áreas azules y marrones que indican el frío y el aire frío y seco.

La banda de nubes también muestra una apariencia muy similar a la de la imagen IR. El chorro de aire seco en el lado ciclónico a menudo penetra en partes de la banda de nubes frontal y estas áreas aparecen con una sombra de tono pardo.

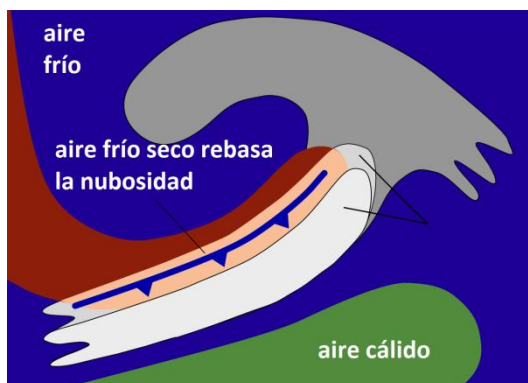


Figura 6.5: Ilustración esquemática de colores y formas de las imágenes satélite de las Masas de aire RGB para frentes fríos de tipo catabático. Fuente: elaboración propia a partir de

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Imágenes polvo RGB:

Los alrededores del FF, especialmente en la parte trasera, muestran colores azul o azul rosado donde no hay nubes debajo; las células o parches de las nubes aparecen principalmente en colores amarillentos a ocres.

La mayor parte de la banda de nubes del frente se muestra como colores rojo oscuro a rojo-marrón, lo que indica una espesa nube de hielo; las áreas amarillentas entre las áreas de color marrón rojizo indican nubosidad de nivel medio debajo y son más extensas que en el caso del frente anabático. A menudo hay fibras negras en los bordes delantero y trasero, lo que indica fibras nubosas muy translúcidas.

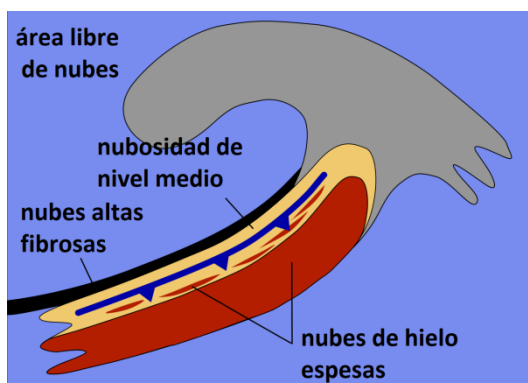


Figura 6.6: Ilustración esquemática de colores y formas de las imágenes satélite RGB Polvo para frentes fríos de tipo catabático. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Tabla 6.2: Resumen de la apariencia típica de un frente frío de tipo catabático en los canales principales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html

IR	- Aparecen colores brillantes con estructuras en toda la banda de nubes
HRV	- Colores más brillantes cerca de la parte posterior de la banda (nube espesa cerca de la superficie frontal)
WV	- Gris claro con estructuras más brillantes incrustadas y una franja oscura en la parte posterior y paralela a la banda de nubes
RGB	- <u>Masas de aire:</u> En la parte posterior de la banda de nubes hay colores de azul oscuro a marrón (aire frío y seco) - <u>Polvo:</u> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Colores rojo oscuro (nube de hielo espesa) en el centro de la banda de nubes ▪ Fibras de nubes negras muy extensas en los bordes delantero y trasero

No siempre es fácil separar claramente los dos tipos de frente. Al comienzo del desarrollo, el frente suele ser de tipo anabático, que luego se convierte en catabático. Estos dos tipos también pueden existir dentro del mismo frente.

La estructura de los frentes fríos también puede variar de acuerdo con otras características adjuntas o incrustadas en él. Estos modelos conceptuales son subestructuras en los frentes como ola, ola superior, intensificación del frente por *Jet Crossing* y decadencia frontal.

6.2 FRENTE FRÍO EN ADVECCIÓN FRÍA (CF IN CA)

Los frentes fríos generalmente se asocian con advección fría detrás de la zona frontal y advección cálida delante de ella, pero a veces todo el frente está bajo advección fría.

Se forman principalmente sobre el Atlántico, pero también en el noreste de Europa después de cruzar el continente, y son más comunes en el invierno que en el verano. Los FF en la etapa AF generalmente duran de medio a dos (2) días, aunque en invierno a veces ocurren desarrollos de tres (3) a cuatro (4) días.

Se trata de frentes de tipo catabáticos antiguos que se disuelven en ciclones ocluidos. La nubosidad del nivel superior es leve o inexistente. En las

primeras etapas, también suele haber una franja oscura significativa detrás del frente debido al aire seco muy frío.

Imágenes IR:

Una banda gris de nubes discontinuas, que es claramente más oscura que otras partes frontales¹⁸ del sistema.

Imágenes VIS:

Una banda de nubes blanca / gris claro con alguna estructura rota.

Imágenes WV:

Banda de nubes grises con a menudo una raya negra detrás de ella. En sistemas pequeños y de disolución, falta la raya negra. Además, en algunos casos, otros sistemas como nubes de pueden ocultar la franja negra. Generalmente al final de la etapa de FF en AF, las franjas oscuras se debilitan y desaparecen.

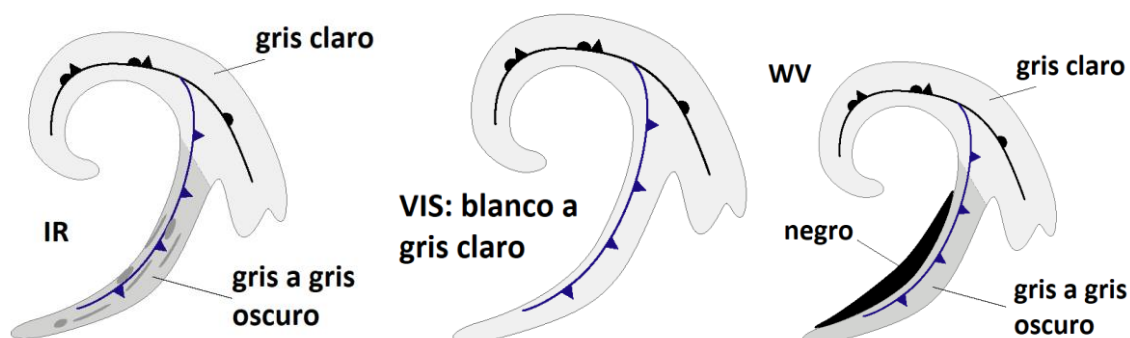


Figura 6.7: Esquemas de tonos y formas de un FF en AF vistas a través de los canales básicos IR (izda.) VIS (centro) y WV (dcha.). Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Masas de aire en RGB:

Delante de la banda de nubes, dependiendo de la ubicación geográfica, hay aire frío que se muestra como colores azules y/o aire más cálido que se muestra como colores verdosos. Este último aparece más en las latitudes del sur, así como en las partes del sur del sector cálido.

¹⁸ Como por ejemplo una oclusión, o un frente cálido.

En la parte posterior del FF en AF, el aire frío y seco de las regiones N-NW se muestra como áreas azul (aire frío) y marrón (aire frío y seco). La franja oscura en la imagen de WV se puede ver como una franja marrón en RGB.

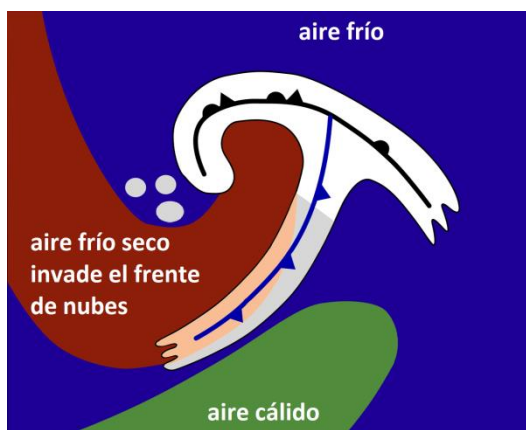


Figura 6.8: Colores y formas de un FF en AF para el compuesto de masas de aire RGB. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

La banda de nubes se ve muy similar a su apariencia en la imagen IR. Sin embargo, a menudo hay áreas en las que se superpone una sombra marrón, lo que indica una penetración de aire seco.

Imágenes polvo RGB:

Discrimina entre áreas sin nubes en colores azules y áreas con nubes principalmente bajas en colores ocres.

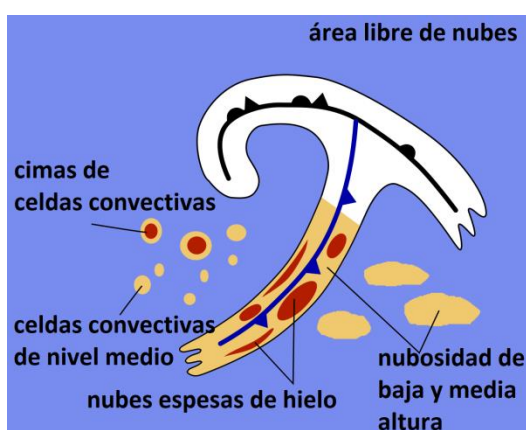


Figura 6.9: Colores y formas de un FF en AF para el compuesto de polvo RGB. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Como la nubosidad de un FF en AF a menudo es menos pronunciada que para un FF activo, predomina la nubosidad de bajo nivel con colores ocres, aunque a veces hay rayas de color marrón rojizo que indican nubes más gruesas.

Tabla 6.3: Resumen de la apariencia típica de un frente frío en advección fría en los canales principales y RGB. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html

<i>IR</i>	- Áreas grises con algunas fibras de nubes más brillantes arriba - Las áreas grises en la banda del FF son más oscuras que en la oclusión y el sector cálido
<i>HRV</i>	- Nubosidad blanca y discontinua
<i>WV</i>	- Banda gris a gris oscuro; franja negra en la parte trasera que representa el aire seco que se hunde
<i>Masas de aire en RGB</i>	- Como la banda de nubes está en latitudes del sur, hay colores verdosos que indican masas de aire cálido superpuestas con algunos parches de nubes más brillantes; una amplia zona marrón representa el aire seco que se hunde en la parte trasera

A la hora de definir el tipo de FF en AF, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- A lo largo del frente puede haber varios tipos de frentes fríos presentes, es decir, CF, CF en CA y CF en WA.
- En las etapas anteriores, es posible que todavía haya algo de nubosidad superior conectada al frente.
- Muy a menudo (en más del 70% de los casos) alguna otra nubosidad superior sobrepasa el FF en AF. Esto podría hacer que las imágenes parezcan un frente frío ordinario y ocultar la franja negra detrás del FF en AF.
- Puede volver a convertirse en FF o incluso en FF en AC antes de que se disuelva.
- A veces, en el norte de FF en AF se puede encontrar ya en una ola antes del estadio de oclusión. Estos frentes parecen frentes fríos convencionales al principio, pero la nubosidad se reduce rápidamente.

- Las rayas oscuras son claras solo al comienzo del desarrollo, luego se vuelven más claras y suaves.

6.3 FRENTE FRÍO EN ADVECCIÓN CÁLIDA (CF IN WA)

Se ha comentado ya que los frentes fríos suelen estar asociados con la advección fría detrás de la zona frontal, pero hay casos en los que también existe advección cálida dentro y detrás de la zona frontal, aunque suele ser débil.

Los FF en AC se forman cuando un FF encuentra advección de aire caliente relacionada con otro sistema que se aproxima. Esto sucede con mayor frecuencia, cuando se forma una nueva ola dentro de un FF.

En las imágenes de satélite, las bandas de nubes de FF en AC generalmente se ven similares a los FF, pero a menudo son más débiles: aproximadamente un tercio de esas bandas de nubes consisten solo en nubes bajas, y casi la mitad de ellas son más fibrosas y rotas que en los FF.

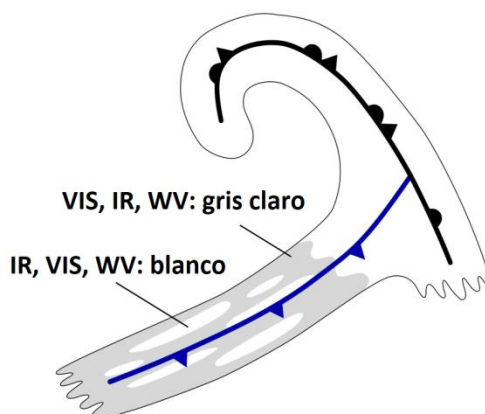


Figura 6.10: Resumen visual de tonos y formas de las imágenes satélite en los canales básicos de un frente frío en advección cálida. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Al igual que con un FF en AF, un FF en AC puede ser un frente completo o una parte de él.

Imágenes IR:

Una banda gris de nubes discontinuas, que es claramente más oscura que otras partes frontales del sistema.

Imágenes VIS:

Una banda de nubes gris claro con alguna estructura rota.

Imágenes WV:

Una banda gris de alto contenido de WV con un límite definido en el borde posterior.

Masas de aire en RGB:

La banda de nubes tiene una apariencia muy similar a la de la imagen IR. Sin embargo, el área de la banda frontal donde las nubes se han disuelto aparece en colores azul, a veces verdosos, con el mismo ancho y configuración que en el canal WV. En consecuencia, esta área es mucho más amplia que la banda de nubes y los colores verdosos indican la masa de aire más cálida que se aproxima desde el oeste y el suroeste.

Detrás del distintivo borde trasero, los colores marrones indican el aire frío y seco que se acerca desde el norte y el noroeste.

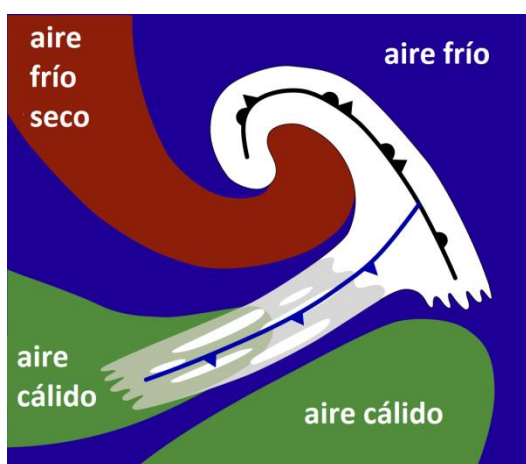


Figura 6.11: Colores y formas del modelo de FF en AC para el compuesto de masas de aire RGB. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Imágenes polvo RGB:

Los alrededores del FF en la banda de nubes de AC suelen ser de color azul donde hay un terreno libre de nubes. Los parches de nubes color ocre, que representan nubes de nivel medio, o áreas rosadas, que representan aire muy seco sobre el suelo sin nubes, pueden ocurrir dentro del área azul según el caso individual.

La banda de nubes del FF en AC consiste principalmente en colores ocres donde solo hay nubes de nivel bajo y medio, y colores rojo oscuro, que representan una nube espesa con gotas de hielo, donde las fibras de nubes más altas han permanecido.



Figura 6.12: Colores y formas del modelo de FF en AC para el compuesto de polvo RGB. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Tabla 6.4: Resumen de la apariencia típica de un frente frío en advección cálida en los canales principales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html

IR	- Áreas grises con algunas fibras de nubes más brillantes arriba - Las áreas grises en la banda del FF son más oscuras que en la oclusión y el sector cálido
HRV	- Nubosidad blanca y discontinua
WV	- Banda gris a gris oscuro; franja negra en la parte trasera que representa el aire seco que se hunde
Masas de aire en RGB	- Como la banda de nubes está en latitudes del sur, hay colores verdosos que indican masas de aire cálido superpuestas con algunos parches de nubes más brillantes; una amplia zona marrón representa el aire seco que se hunde en la parte trasera

6.4 FRENTE CÁLIDO

6.4.1 Escudo de Frente Cálido

Los escudos de frente cálido están acompañados por escudos de nubes que comprenden las áreas del sector cálido y el frente cálido.

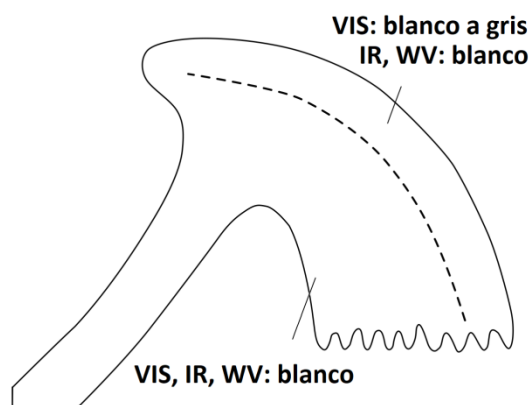


Figura 6.13: Resumen visual de tonos y formas de las imágenes satélite en los canales básicos para el caso de un escudo de frente cálido. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Imágenes VIS:

Los tonos grises son generalmente blancos dentro del sector cálido (en un caso bien desarrollado) y cerca del frente cálido de la superficie, mientras que los tonos grises se vuelven gradualmente más y más grises hacia el borde delantero de la nube.

Imágenes IR:

Los tonos grises del escudo de nubes suelen ser blancos, lo que indica la cima de las nubes frías. Sin embargo, muy a menudo muestran subestructuras que difieren de un caso a otro.

Imágenes WV:

Dentro del área del escudo de nubes los valores de píxeles son brillantes.

En el borde delantero del escudo de nubes, la imagen de WV muestra un fuerte gradiente de blanco a negro a lo largo del eje del chorro, lo que indica aire seco en el lado del chorro ciclónico.

Masas de aire en RGB:

Por lo general, frente al escudo, los colores azul oscuro indican masas de aire frío. El escudo del frente cálido es parte del sector cálido y al SSW de este escudo de nubes, los colores suelen ser verdosos, lo que representa masas de aire cálido. Los colores azules circundantes, en parte incluso dentro del escudo, pertenecen a la masa de aire más fría en la que se eleva el aire más cálido. Éste es otro factor que contribuye es la alta humedad en los niveles superiores.

Las nubes del escudo del frente cálido son muy similares a su apariencia en la imagen de infrarrojos.

Imágenes polvo RGB:

Se pueden ver colores azul a azul-rosado donde hay una región de tierra o mar sin nubes. Por lo general, existen otros parches y configuraciones de nube frente al escudo que aparecen en diferentes tonos de ocre, y aparecen especialmente en invierno cuando existen campos de niebla y estratos.

Los colores del escudo del frente cálido dependen del grosor de la capa de nubes. Las áreas más gruesas aparecen de color rojo oscuro, lo que indica una espesa nube de hielo. Las capas de nubes más bajas aparecen de amarillo a ocre. Muy a menudo, el borde de ataque de la banda de nubes del frente cálido está acompañado por fibras negras que se estiran a lo largo del eje del chorro.



Figura 6.14: Esquema de colores y formas para imágenes compuestas de masas de aire RGB y polvo RGB en escudos de frente cálido. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Tabla 6.5: Resumen de la apariencia típica de un WFS en los canales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html

IR	- Colores brillantes y estructurados
HRV	- Colores brillantes en el y estructurados con tonos grises más oscuros en el borde de ataque
WV	- Área gris claro de alta humedad con algunas estructuras de nubes incrustadas; existe una franja oscura al este de la nube de escudo
RGB	- <u>Masas de aire RGB:</u> Los colores azul oscuro representan una masa de aire fría que existe al este de la nube de escudo. Al mismo tiempo, las áreas libres de nubes tanto dentro como al sur del escudo se indican con colores verdosos, lo que significa masas de aire cálido - <u>Polvo RGB:</u> Los colores ocre se encuentran comúnmente en las partes sur y suroeste del escudo y representan la nube de nivel medio; Los colores rojo oscuro indican la espesa nube de hielo que se encuentra más hacia las partes este y noreste

6.4.2 Banda de Frente Cálido

Las bandas del frente cálido están acompañadas por bandas de nubes que generalmente son más cortas que las bandas de nubes del frente frío.

Imágenes VIS:

En la imagen VIS, los tonos grises son generalmente brillantes en el borde posterior, volviéndose cada vez más grises y más tenues hacia el borde delantero.

Imágenes IR:

Los tonos grises de la banda de nubes son blanco grisáceo; en el caso ideal, existen valores de píxeles más brillantes hacia el borde de la nube hacia adelante y hacia abajo.

En la realidad es frecuente la inexistencia de una sola banda continua de nubes, habiendo varias capas de nubes con nubes rotas. A veces solo existen nubes altas. En la imagen de infrarrojos, varias áreas de nubes blancas de alto nivel se superponen a las capas de nubes grises inferiores.

Imágenes WV:

Se pueden observar numerosos valores de píxeles brillantes en el área de la región de la banda de nubes frontal.

En el borde de ataque de la banda de nubes, la imagen de WV muestra un fuerte gradiente de blanco a negro que indica aire seco a lo largo del lado ciclónico del chorro.

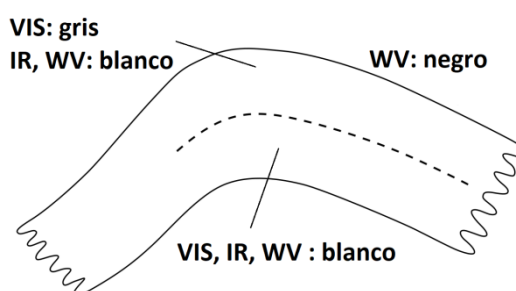


Figura 6.15: Resumen visual de colores y formas de las imágenes satélite en los canales básicos para el caso de un frente cálido. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMS/index.htm>

Masas de aire en RGB:

Delante de la banda del FC, los colores azules indican masas de aire frío y son una característica común. En la parte posterior, dentro del sector cálido, el color varía con un suave degradado de colores verdosos, representando masas de aire cálido, a colores azules cerca del borde posterior de la banda del FC. Los colores azules representan el deslizamiento frontal del aire más

cálido sobre la masa de aire originalmente fría, así como la alta humedad en los niveles superiores de estas regiones.

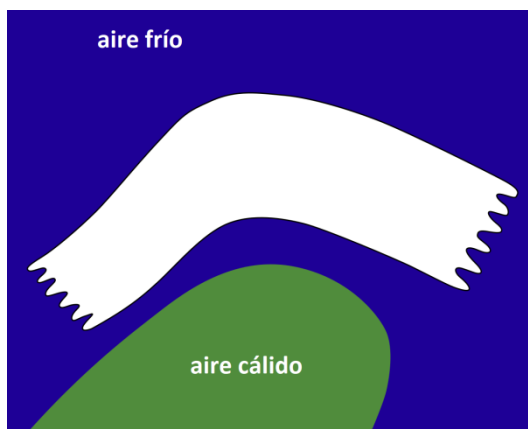


Figura 6.16: Dibujo esquemático de colores y formas de las imágenes satélite de masas de aire RGB para el caso de un frente cálido. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

La textura de las nubes en la banda del frente cálido es muy similar a su apariencia en la imagen de infrarrojos.

Imágenes polvo RGB:

Los colores azul a azul-rosado se pueden ver donde hay tierra o mar sin nubes. Hay otros parches de nubes en diferentes tonos de ocre, que existen frente a la banda de nubes y también en el sector cálido. Estos suelen ser más bajos, especialmente en invierno cuando se producen campos de niebla y estratos.

En la banda del frente cálido, los colores dependen del grosor de la nube. Las áreas más gruesas aparecen de color rojo oscuro indicando una espesa nube de hielo, las nubes más bajas aparecen de amarillo a ocre. Muy a menudo, el borde de ataque de la banda de nubes del FC va acompañado de un filamento o fibras negras que acompañan a la región del eje del chorro.

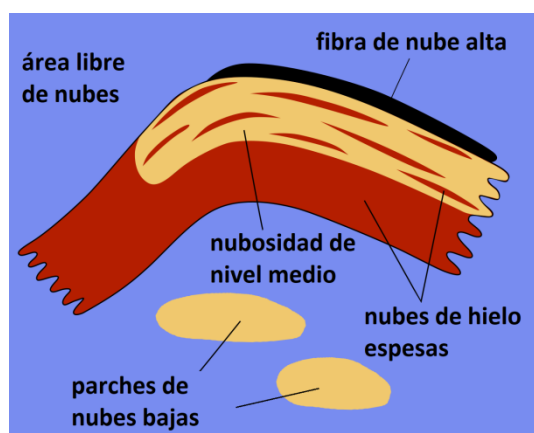


Figura 6.17: Dibujo esquemático de colores y formas de las imágenes satélite polvo RGB para el caso de un frente cálido. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Tabla 6.6: Resumen de la apariencia típica de un WFB en los canales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html

IR	- Colores brillantes; un filamento o fibras de nube brillante en el borde de ataque
HRV	- Colores brillantes en el borde posterior de la banda de nubes
WV	- Banda brillante de alta humedad con la fibra de nube brillante en el borde de ataque; una franja oscura antes de la fibra de la nube
RGB	- <u>Masas de aire RGB:</u> Colores azules dentro y alrededor de la banda de nubes que indican aire frío; patrones de nubes y texturas similares a los de infrarrojos - <u>Polvo RGB:</u> los colores ocre indican nubes de nivel medio; rayas rojas se superponen a nubes de hielo más gruesas; la franja en el borde de ataque parece más oscura, casi negra, lo que indica una nube alta fina y translúcida

6.5 FRONTÓLISIS (FD)

Describe una subestructura en las bandas de nubes del frente frío. Las imágenes de satélite muestran una disipación temporal o completa de la nubosidad a escala meso a subsinóptica dentro de una banda de nubes frontal. El ciclo de vida de este mecanismo varía de 6 a 24 horas. La descomposición frontal puede ser causada por otros procesos como la elongación de la banda de nubes frontal. A menudo, esta decadencia ocurre durante el desarrollo del modelo conceptual de ciclogénesis explosiva.

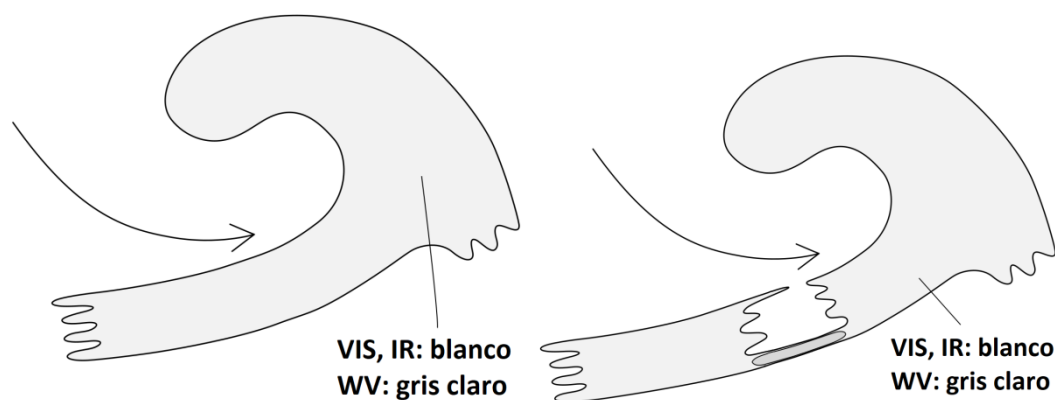


Figura 6.18: Esquema de tonos y formas de las imágenes satélite en los canales de una frontólisis. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Imágenes IR:

La descomposición de las nubes generalmente comienza desde el lado posterior más frío y seco de la banda frontal, mostrando un área oscura o incluso negra en la imagen IR que aumenta con el tiempo. En una etapa temprana, la disipación tiene lugar dentro de las nubes de nivel alto y medio, dejando una franja gris oscura asociada con la fracción de nubes más bajas.

A veces, se forma una fibra de nube de chorro brillante y clara en el borde de la brecha de la nube. Los procesos físicos, indicados por corrientes relativas, conducen a la disipación de las nubes bajas durante la etapa de madurez del proceso, o al relleno del espacio de nubes nuevamente.

Imágenes WV:

La banda WV gris claro se oscurece desde el borde trasero. El tono gris de la zona de disolución en el WV difiere según las características de los casos individuales, pero en todos los casos investigados está presente una estructura de banda de WV débil.

Imágenes VIS:

En la mayoría de los casos, la imagen VIS muestra que la fracción de nubes bajas permanece incluso en un estado avanzado de debilitamiento.

La disipación completa en la última etapa del ciclo de vida ocurre en muy pocos casos. En la mayoría de los casos, la disipación contiene parches de nubes delgadas.

Masas de aire RGB:

En el área FD, las nubes experimentan una fuerte evaporación y la región libre de nubes muestra el suelo debajo. En esta zona, ya han salido masas de aire frío aguas abajo, que se pueden ver en los colores azules. En la parte trasera del FD, el marrón oscuro representa las masas de aire frío y seco.

Como es habitual, el resto de las nubes asociadas con la banda del frente frío que se encuentra en las masas de aire RGB es muy similar a la de las imágenes IR.

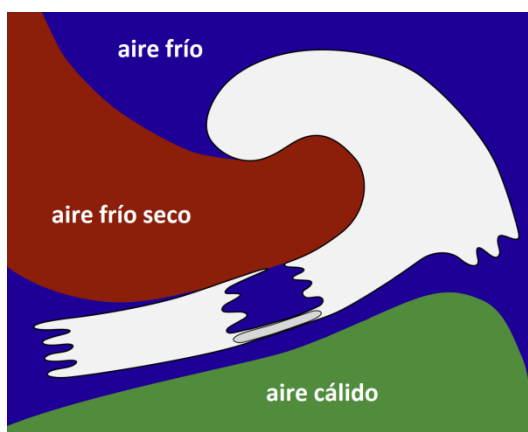


Figura 6.19: Esquema de colores y formas de las imágenes de masas de aire RGB en el modelo de frontólisis. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Polvo RGB:

En el área del FD, donde se evaporan las nubes, muestra la superficie de la Tierra de un color azul o azul rosado. A veces, los colores verdosos indican que existe una nube delgada de nivel medio.

En los alrededores, el resto de la banda de nubes frontal depende del grado de evaporación de las fibras de la nube negra, que representa la nube de hielo alta. Algunas fibras de nubes negras a menudo se pueden encontrar en la parte posterior de la banda de nubes frontal cerca del eje del chorro.

En los casos de evaporación reducida de las nubes frontales, pueden existir manchas de color rojo oscuro, lo que indica una nube de hielo más espesa.



Figura 6.20: Esquema de colores y formas de las imágenes de polvo RGB en el modelo de frontólisis. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Tabla 6.7: Resumen de la apariencia típica de una frontólisis en los canales principales y compuestos. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html

IR	- Banda de nubes de frente frío brillante; fibras brillantes en la parte posterior en el eje del chorro; área oscura al sur de estas fibras, que representa un área de evaporación de nubes altas
HRV	- Banda de nubes de frente frío brillante; Nube gris oscuro en el área del debilitamiento, lo que representa que el resto de la nube es una nube de nivel medio y bajo
WV	- Banda gris claro o brillante de alta humedad en las capas superiores; fibras de nubes brillantes en la parte posterior; el área de debilitamiento frontal es un poco más oscura
RGB	- <u>Masas de aire:</u> Las nubes parecen similares a las del IR; alrededor de la banda de nubes y en las áreas libres de nubes, los colores azulados representan la masa de aire frío, similar al área de debilitamiento frontal. En la parte trasera, los colores marrones representan el aire frío y seco que se hunde detrás del frente frío. - <u>Polvo:</u> Banda de nubes frontal con colores ocre y rojo oscuro donde están presentes el líquido de nivel medio y la nube de hielo espesa. En el área de debilitamiento frontal, dominan el rojo rosado y el verdoso; hacia el NO, las nubes de nivel medio se indican con ocre

6.6 CICLOGÉNESIS EXPLOSIVA

Este fenómeno describe un desarrollo rápido e intensivo de un ciclón extratropical (ciclón de latitud media). El criterio de desarrollo para la denominación de explosiva, es que la tasa de profundización de la presión central al nivel del mar sea mayor o igual a 1hPa por hora, generalmente durante un período de 12 horas o más¹⁹.

Los eventos de ciclogénesis rápida a menudo están relacionados con eventos climáticos severos a catastróficos. Como el desarrollo generalmente comienza sobre el Atlántico, el clima severo se observa cuando ya ha alcanzado las etapas de desarrollo avanzado y maduro.

En una secuencia de imágenes de satélite, la ciclogénesis explosiva se ve como la evolución de una cabeza de nube de bajo nivel a una espiral de nubes de oclusión. Los procesos en la troposfera superior son esenciales en tales desarrollos.

Una ciclogénesis explosiva (RaCy) se caracteriza por una fase de desarrollo rápida e intensiva al principio. En la mayoría de los casos, esto ocurre en aproximadamente 12 horas. Este desarrollo va acompañado de configuraciones especiales de nubes en imágenes de satélite. Muestran el desarrollo de una cabeza de nube en el lado hacia el polo de una zona de nubes frontal orientada principalmente de oeste a este en una espiral de nubes ciclónicas altamente desarrollada. Algunas de las configuraciones de las nubes se desvían de los procesos de ciclogénesis clásicos. Después de la rápida profundización, el ciclón, con su espiral de nubes completamente desarrollada, en la mayoría de los casos, persistirá durante varios días.

¹⁹ Esta definición suele referirse a latitudes altas, alrededor de los 55°-60°. En latitudes inferiores, esta condición se relaja a valores de 9-10hPa en 12h.

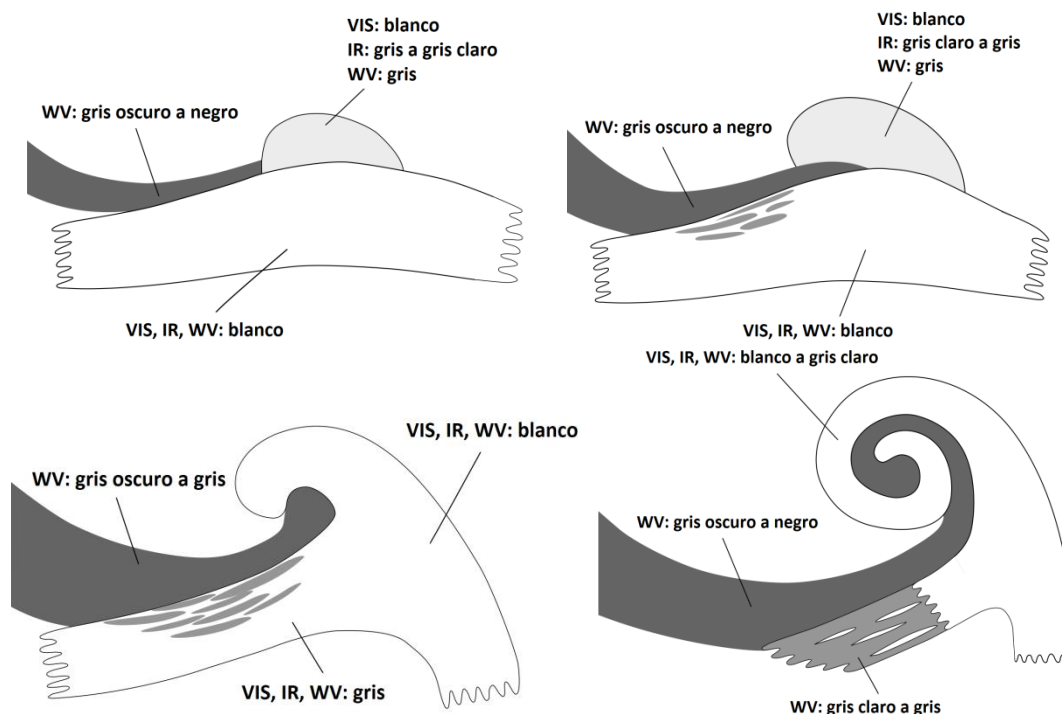


Figura 6.21: Esquemas de las etapas de ciclogénesis explosiva vistas a través de los canales básicos IR, WV y VIS (sup. izda.: etapa inicial; sup. dcha.: etapa de desarrollo; inf. Izda.: etapa avanzada; inf. dcha.: etapa madura). Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Imágenes IR:

Se observan dos configuraciones de nubes principales durante las etapas iniciales: una banda de nubes frontal generalmente orientada de este a oeste y nubes con cimas más cálidas que forman un escudo cada vez más denso o cabeza de nube, en el lado de los polos de la banda de nubes frontal y que sobresale por debajo de ella. La cabeza de la nube en desarrollo varía entre gris y gris claro en los canales de infrarrojos, principalmente con cimas más altas en el lado hacia el polo.

El aire seco que se hunde que se origina en los niveles inferiores de la estratosfera en el lado ciclónico de una corriente en chorro es advectado corriente abajo. Esto conduce a un área oscura y sin nubes entre la banda de nubes del frente frío y la cabeza de las nubes, creando así un patrón en V.

Durante las etapas avanzadas, la cabeza de la nube crece hasta convertirse en una espiral de nubes con curvas ciclónicas con una amplia zona oscu-

ra entre la espiral y la banda de nubes frontal; Además, la parte trasera de la nube frontal fría se disuelve con frecuencia como consecuencia del aire seco que se hunde.

El desarrollo posterior que conduce a la etapa madura del ciclón a menudo incluye una espiral de nubes alrededor del centro bajo.

Imágenes WV:

Las imágenes de WV tienen un papel importante en la identificación de la posibilidad de un inicio rápido de la ciclogénesis.

En la etapa inicial del desarrollo, se puede ver una franja gris oscura a lo largo del borde norte de la banda de nubes frontal blanca. Esta franja representa el aire seco que se hunde desde la estratosfera a lo largo del lado ciclónico de una corriente en chorro.

Antes de que comience el desarrollo, la franja gris oscuro es más clara aguas arriba de la cabeza de la nube.

En la siguiente etapa, la franja gris oscuro se acerca a la cabeza de la nube mientras se vuelve más y más oscura (lo que indica que el aire seco se mueve hacia abajo en la troposfera superior) y finalmente forma un patrón en V típico junto con la cabeza de la nube.

Durante las etapas avanzadas, la cabeza de la nube se convierte en una espiral de nubes curva ciclónica con una amplia zona negra entre la espiral y la banda de nubes frontal.

A menudo se desarrolla una franja oscura adicional a lo largo del límite norte-noreste de la cabeza de la nube en la región de aire frío dentro de la masa de aire frío, lo que indica un movimiento de hundimiento. Esto está relacionado con una segunda racha de chorro que a menudo se desarrolla allí.

Imágenes VIS:

Durante sus etapas iniciales, tanto la banda de nubes frontal orientada de oeste a este como la cabeza de la nube aparecen blancas en la imagen VIS, lo que indica una profundidad de nubes bastante gruesa.

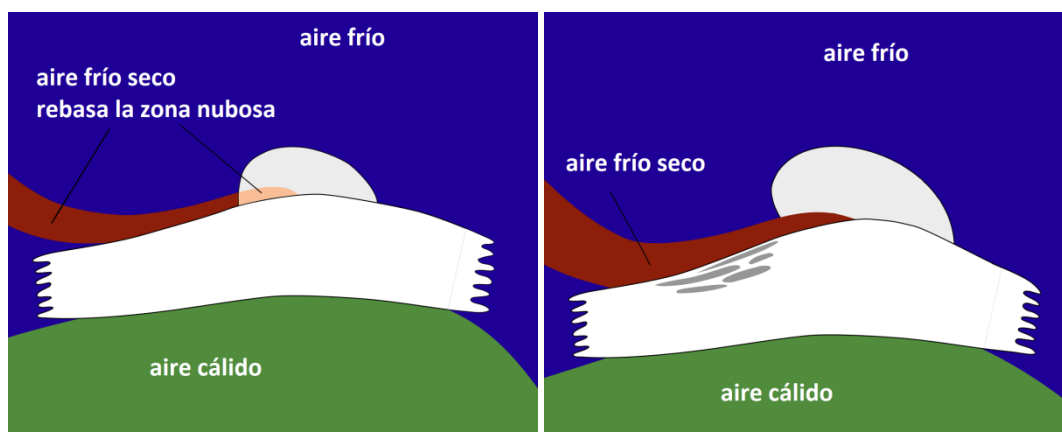
Como la parte superior de la banda de nubes frontal es más alta que la de la cabeza de la nube, las nubes frontales pueden proyectar una sombra distinta sobre la cabeza de la nube, que es visible en las imágenes VIS.

RGB masas de aire:

La característica más importante en un en la imágenes RGB de las masas de aire durante todo el desarrollo es la franja marrón oscura a lo largo y en la parte posterior de la banda de nubes frontal; es indicativo del aire estratosférico frío y seco que se hunde.

Por lo general, en la fase inicial, la mayoría de las veces solo hay una franja que se extiende de oeste a noroeste, hacia el borde posterior de la cabeza de la nube. A medida que el desarrollo continúa, la franja se ensancha e intensifica en un patrón en V distintivo entre la cabeza de la nube y la banda frontal de la nube. Finalmente, durante la etapa avanzada, el patrón en V pasa a un área de agujero circular en el centro de la espiral de nubes en desarrollo. Este desarrollo hace que la aceleración de la ciclogénesis rápida sea claramente visible. Desde la etapa avanzada hasta la madura, los colores marrón oscuro muy intensos llenan toda el área dentro de la espiral.

Las nubes se ven muy similares en las imágenes de infrarrojos. A veces, en la etapa inicial, la parte sur de la cabeza de la nube está invadida por aire seco, lo que da como resultado algunas sombras marrones allí.



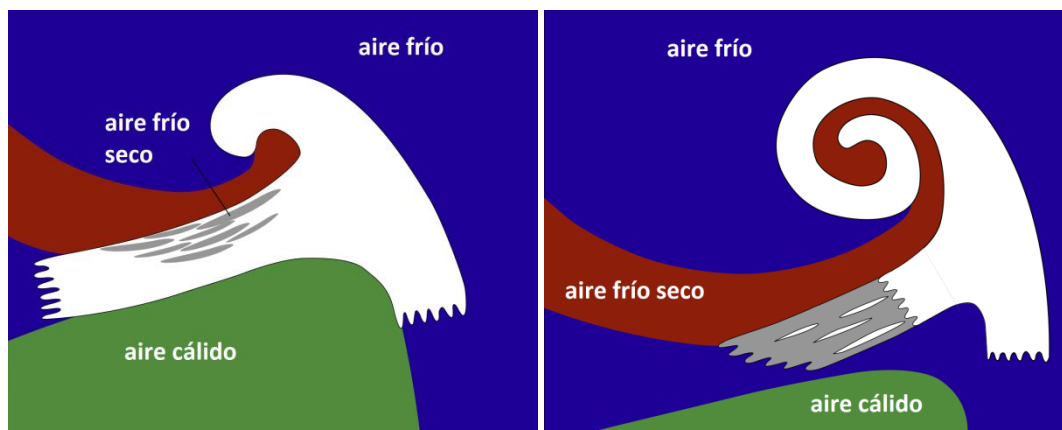


Figura 6.22: Etapas de ciclogénesis explosiva en el compuesto RGB de masas de aire. Fuente: elaboración propia a partir de <http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

RGB polvo:

Los alrededores del sistema de nubes que experimentan una ciclogénesis explosiva tienen colores azules en todas las etapas de desarrollo. En estos lugares, que solo difiere si existen nubes delgadas de nivel bajo o medio, indicadas por parches de nubes ocres o verdes.

En la etapa inicial, la cabeza de la nube que aparece en las imágenes IR es menos brillante y más fría que la nube frontal como se ve en el polvo RGB. Si es visible, solo existen pequeñas diferencias entre los dos sistemas de nubes. Ambas partes consisten en una espesa nube de hielo. Sin embargo, a menudo se puede observar una disolución de las nubes en la banda de nubes frontal mediante el desarrollo de colores ocres. En esos casos, una fibra de nube negra permanece en el límite norte de la banda de nubes frontal donde se encuentra el eje del chorro. En la etapa avanzada y madura más adelante, la espiral de nubes aparece de color rojo oscuro debido a la espesa nube de hielo.

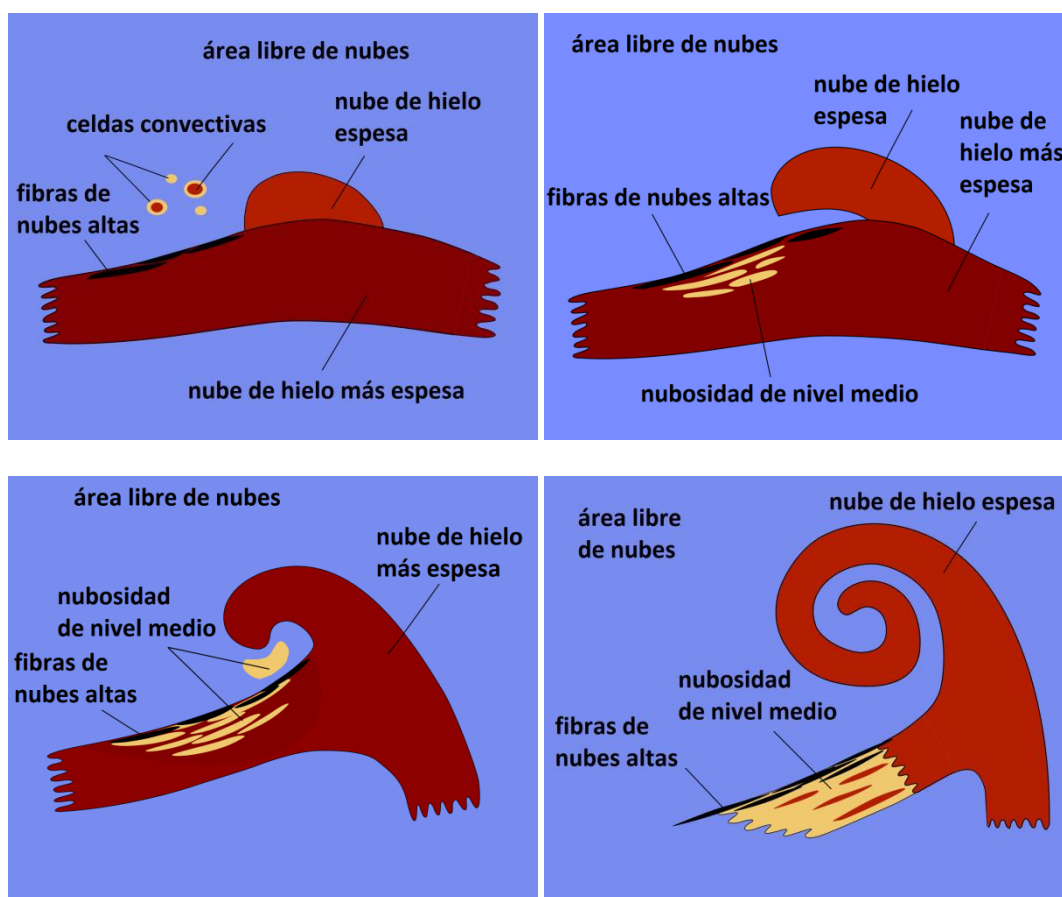


Figura 6.23: Etapas de ciclogénesis rápida para RGB polvo. Fuente: elaboración propia a partir de

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/index.htm>

Tabla 6.8: Resumen de la apariencia típica de un frente cálido dividido en los canales principales. Fuente: elaboración propia a partir de http://www.eumetrain.org/satmanu/index_conc.html

IR	<p>1- Cabeza de nubes IR muy brillante; banda de nubes frontal gris oscuro; Fibra brillante en el eje del chorro orientada de W a E</p> <p>2- Cabeza de la nube y parte E del FF muy brillantes; una fibra brillante en el eje del chorro orientada W a E. Característica más importante: patrón en V negro entre la cabeza de nubes y la banda de nubes frontal, que indica el inicio de la rápida profundización de la baja presión</p> <p>3- Espiral de la nube y las partes orientales de las bandas de nubes frontales muy brillantes</p> <p>4- Espiral de nubes desarrolladas y las bandas de nubes frontales muy brillantes</p>
HRV	<p>1- Cabeza de nubes muy brillante; banda de nubes frontal gris; Fibra de nube gris en eje del chorro orientada de W a E</p> <p>4- Espiral de nubes desarrolladas y las bandas de nubes frontales muy brillantes</p>

WV	<p>1- Cabeza de nubes gris claro; franja oscura de W a E que termina en el límite occidental de la cabeza de nube (hundimiento de aire estratosférico seco)</p> <p>2- Cabeza de nubes y parte E del FF muy brillantes; Franja negra al N de la banda de nubes termina en patrón en V entre la cabeza de nubes y el FF (indica la protuberancia hacia el E del aire estratosférico seco)</p> <p>3- Todo el sistema frontal es de color blanco a gris claro. La franja negra en el borde N del FF fluye hacia un gran agujero oscuro en el centro de la espiral de nubes en desarrollo</p> <p>4- Espiral de nubes desarrolladas y bandas de nubes frontales gris claro a brillante. Gran área de gris oscuro a negro en el centro de la espiral de nubes</p>
RGB masas de aire	<p>1- La banda azul ancha en el área de la banda de nubes frontal representa la masa de aire frío; franja de color marrón oscuro hacia el N que se extiende desde el W hasta el borde occidental de la cabeza de la nube indica (aire estratosférico seco y hundido)</p> <p>2- Correspondiente a imagen WV, la franja de color marrón oscuro termina en patrón en V (protuberancia hacia el E del aire estratosférico seco)</p> <p>3- En correspondencia con imagen WV, franja de color marrón oscuro termina en el centro de la espiral de nubes en desarrollo (indicación de aire estratosférico seco hundiéndose en el centro de la espiral de oclusión)</p> <p>4- En correspondencia con imagen WV, la franja de color marrón oscuro termina en el centro de la espiral de nubes desarrollada (presencia del aire estratosférico seco)</p>
RGB polvo	<p>1- Rojos oscuros para la cabeza de la nube; ocre para la banda de nubes frontal; y rojos oscuros a negros para las fibras en el eje del chorro</p> <p>2- Área en patrón en V muestra colores azules (suelo libre de nubes debajo), causado por el aire que se hunde dentro del centro de la circulación ciclónica</p> <p>3- Rojos oscuros en espiral de nubes de la ciclogénesis y partes orientales de bandas frontales de nubes; ocre para las partes occidentales de la banda de nubes del FF y negros para la fibra en el eje del chorro. Centro de la espiral de nubes parcialmente azul donde está libre de nubes y parcialmente ocre donde hay parches de nubes bajas</p> <p>4- Rojos oscuros para el sistema de FF-FC y áreas grandes en espiral de oclusión. Hacia el centro de la espiral, áreas de nubes ocre se hacen más grandes (disolución de la nube más espesa). Aparte de algunas células ocre en el aire frío detrás del sistema frontal, colores azules (ausencia de nubes). Las fibras negras y las áreas en el borde SW de la banda del frente frío indican una nube de hielo delgada y de alto nivel</p>
Observación general	Las dos primeras etapas pueden desviarse de los esquemas que muestran la situación habitual.

En resumen, hay dos características principales de una ciclogénesis explosiva que se ven en imágenes de satélite y bucles de imágenes:

1. Una banda de nubes de frente cálido-frente frío orientado principalmente de oeste a este junto con una cabeza de nube en el lado hacia el polo
2. Una raya gris oscura que se acerca en la imagen de WV. Tan pronto como el borde de ataque de esta franja gris oscuro se vuelva más oscuro y más ancho, cerca del área entre la cabeza de la nube y la banda frontal de la nube, el rápido desarrollo tendrá lugar en solo unas pocas horas

En las etapas avanzada y madura, cuando la espiral de nubes está bien desarrollada y rodea el centro del ciclón, pueden aparecer líneas de nubes paralelas cerca de la parte más interna de la espiral de nubes. Estas bandas de nubes son bandas de lluvia paralelas. Aunque las bandas de lluvia son por su naturaleza más visibles en el radar que en las imágenes de satélite, se mencionan aquí porque pueden aparecer junto con un fenómeno muy peligroso, la corriente oscilante o chorro en aguijón (*Sting Jet*). El chorro en aguijón, es un chorro muy intenso de viento que desciende desde niveles altos hasta la superficie.

**7. COMPARATIVA DE LOS ANÁLISIS CON LAS IMÁGENES SATÉ-
LITE**

Ropa mojada, dos veces colada

Con el empleo de las imágenes satélite a la hora de revisar los análisis meteorológicos, se pretende acostumbrar y ejercitar al marino para mejorar su comprensión de la evolución de los acontecimientos meteorológicos y poder establecer los posibles escenarios de evolución para anticiparse a ellos a la hora de realizar los planes de viaje²⁰.

A continuación se identifican algunos de los modelos conceptuales mostrados en el apartado anterior con casos reales que han podido seguirse a bordo, observando el escenario de evolución en una secuencia del tiempo más completa.

7.1 FRENTE FRÍO

El día cuatro de diciembre de 2020 a las 00.00UTC se identificó un ejemplo típico de un frente frío de tipo anabático que rápidamente se convirtió en catabático, extendiéndose desde el sur de las islas Británicas hasta el Atlántico al norte de las Azores en el momento de mayor actividad.

La profunda borrasca de menos de 980hPa, se formó a sotavento de Terranova entre los días 30 de noviembre y uno de diciembre. Atravesó el Atlántico siguiendo la latitud 60°N hasta situarse al NW de las islas Británicas a primeras horas del día tres. A partir de ese momento su movimiento fue en dirección SE, bordeando el anticiclón de las Azores.

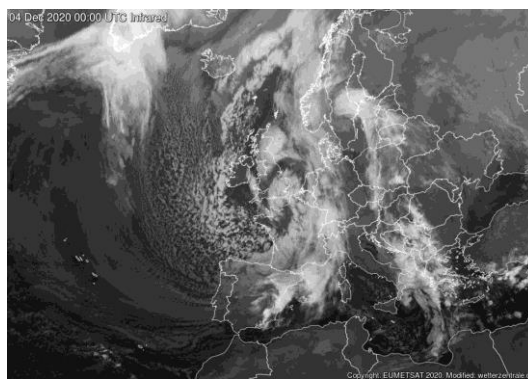


Figura 7.1: 4 de diciembre de 2020/ 00.00 UTC Imagen IR del Meteosat 8. Fuente:

<https://www.wetterzentrale.de>

²⁰ Por poner un ejemplo, ver venir riesgos potenciales de ciclogénesis ayudará a decidir la ruta más segura.

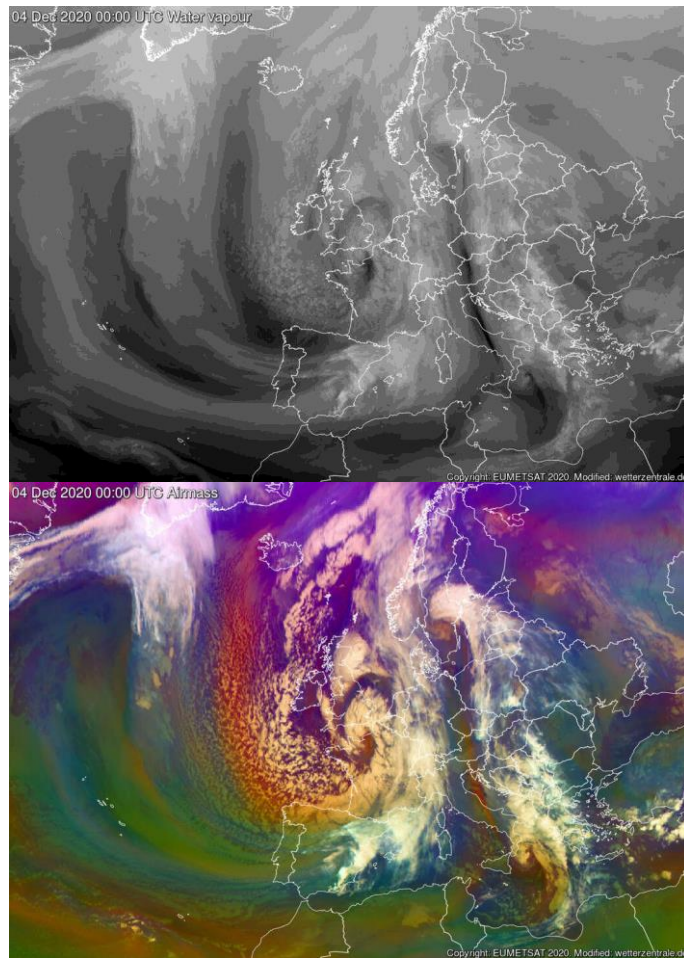


Figura 7.2: 4 de diciembre de 2020 / 00.00 UTC - Imágenes Meteosat 8 WV, y masas de aire RGB. Fuente: <https://www.wetterzentrale.de>

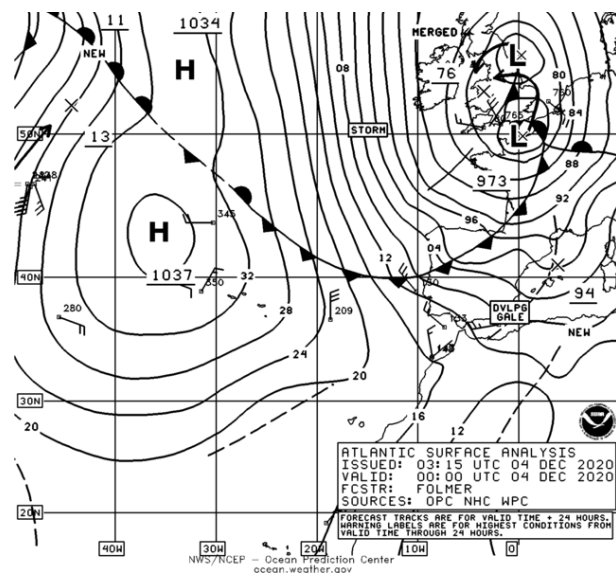


Figura 7.3: Mapas sinóptico de análisis en superficie (4 de diciembre de 2020 / 00.00 UTC). Fuente: <https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/>

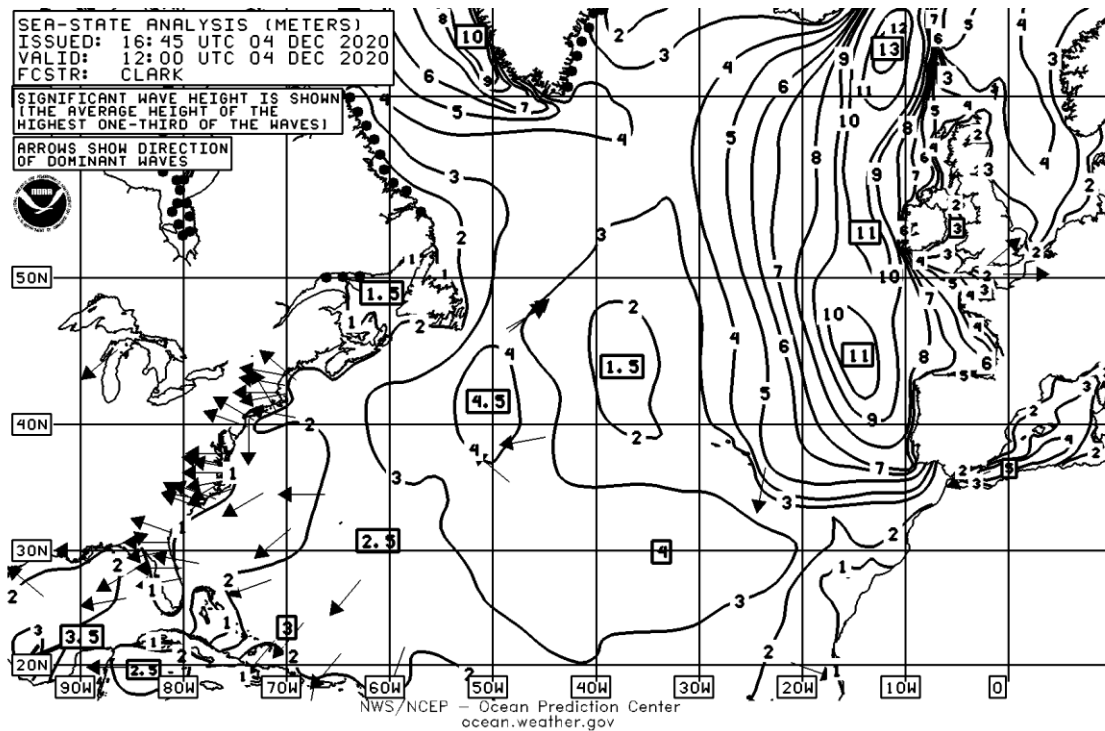


Figura 7.4: Análisis del estado de la mar (4 de diciembre de 2020 / 12.00 UTC). Fuente: <https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/>

El FF asociado a la borrasca y la entrada fría posterior afectaron a la zona del Golfo de Vizcaya entre las primeras horas del jueves tres y los días siguientes.

Los efectos adversos más importantes fueron el fuerte oleaje en el Golfo de Vizcaya y el Cantábrico²¹ (véase el estado de la mar en el análisis del día cuatro a medio día), que dio lugar a avisos rojos por olas hasta ocho metros al NNW de la Península, las rachas de viento muy fuertes de F11 en en numerosos puntos del Cantábrico, fuertes lluvias en la zona marítima y una descarga fría posfrontal que dejó nevadas en zonas montañosas del norte y este de la Península.

²¹ Al tratarse de un fenómeno meteorológico formado varios días antes en la zona de los Grandes Bancos y debido a su trayectoria, el *flech* que afectó al Golfo de Vizcaya fue de varios cientos de millas.



Figura 7.5: Estado de la mar el día seis de diciembre a unas 40 millas al SE de la Bretaña francesa. El viento ya amainó hasta F6 y la mar remanente del NW era de unos tres metros de altura significativa. Obsérvese que la descarga fría posfrontal duró varios días más (los altocúmulos mostraban que el frente ya había pasado). Fuente: propia

Tabla 7.1: Resumen de eventos meteorológicos del frente frío anabático. Fuente: varias

Precipitación	- Lluvias moderadas a fuertes - Posibilidad de tormentas eléctricas en todas las estaciones
Temperatura	- Cae rápidamente tras el paso del frente.
Viento	- Alrededor de Cbs incrustados son posibles fuertes ráfagas. - Rolada del viento en el paso frontal
Otros	- Precipitación en una estrecha banda de nubes justo delante del frente (línea de convección) - Áreas con precipitación detrás del frente (descarga posfrontal)

Tabla 7.2: Resumen de eventos meteorológicos en un frente frío catabático. Fuente: varias

Precipitación	- Precipitación por delante del frente de superficie - Precipitación a veces en bandas estrechas por delante del frente - Posibilidad de tormentas eléctricas en todas las estaciones
Temperatura	- Cae rápidamente tras el paso del frente
Viento	- Alrededor de Cbs incrustados son posibles fuertes ráfagas. - Rolada del viento en el paso frontal

7.2 FRENTE FRÍO EN ADVECCIÓN CÁLIDA (CF IN WA)

Este es un caso de formación de un FF en AC entre los días 7 y 8 de mayo de 2021 al NW del Golfo de Vizcaya. Se puede apreciar desde últimas horas de la tarde del día 7 a través de los canales compuestos RGB.

En IR la banda gris de nubes es algo más oscura que otras partes frontales del sistema.

El alto contenido de WV tiene un límite definido en el borde posterior.

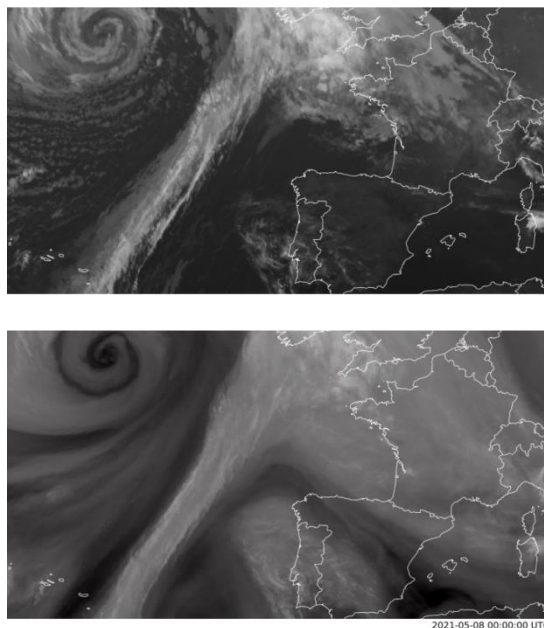


Figura 7.6: 7 y 8 de mayo de 2021 / 23.00-00.00UTC - Imágenes Meteosat 8 IR y WV.

Fuente: <https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>

En RGB masas de aire, la banda de nubes tiene una apariencia muy similar a la de la imagen IR y el área de la banda frontal donde las nubes se han disuelto aparece en color azul con el mismo ancho y configuración que en el canal WV. Los colores verdosos indican la masa de aire más cálida que se aproxima desde el oeste y el suroeste.

Detrás del distintivo borde trasero, se encuentran los colores marrones de aire frío y seco al NW.

En RGB polvo los alrededores del FF en la banda de nubes de AC son de color azul-violeta donde hay un terreno libre de nubes. En dicha área solo

aparecen algunos parches de nubes color ocre, representando nubes de nivel medio.

La banda de nubes del FF en AC consiste principalmente en colores ocres y rojo oscuro, donde solo hay nubes de nivel bajo y medio y una nube espesa con gotas de hielo.

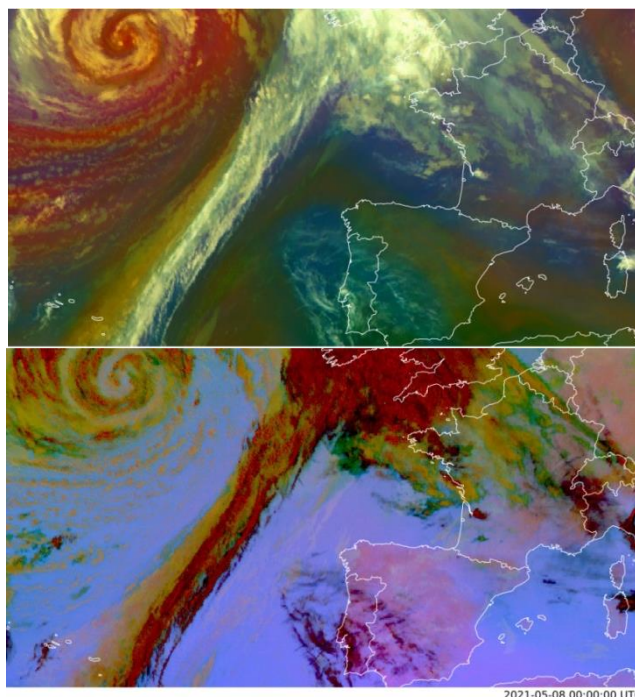


Figura 7.7: 8 de mayo de 2021 / 00.00UTC - Imágenes Meteosat 8 en los compuestos RGB. Fuente: <https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>

Tabla 7.3: Resumen de eventos meteorológicos en un frente frío en advección cálida. Fuente: varias

Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitación leve a moderada en la parte posterior de la banda de nubes - Hay ocasiones en las que no llueve - En verano, pequeño riesgo de Cbs con tormentas eléctricas y fuertes lluvias
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Cae lentamente tras el paso del frente
Viento	<ul style="list-style-type: none"> - Rolada del viento en el paso frontal - Posibilidad de fuertes rachas tras el paso frontal en verano
Otros	<ul style="list-style-type: none"> - Menos precipitaciones que en un frente frío clásico, a menudo sin precipitaciones en absoluto - Riesgo muy pequeño de tormentas eléctricas - El frente consiste principalmente en disipar la nubosidad de niveles bajos y medios, a veces casi sin nubes

7.3 FRENTE CÁLIDO

La imagen de satélite muestra una banda de nubes de curva anticiclónica, conectada a una banda de nubes de frente frío.

El caso del 23 de abril de 2021 demuestra un ejemplo de una banda de nubes WF que se extiende desde el NW de Finisterre cruzando la península ibérica en forma de banda de nubes de NW a SE. Se aprecia claramente la banda de nubes de FC conectada a la banda de nubes de FF y una curva ciclónica de frente ocluido que se extiende hasta el SW de Irlanda.

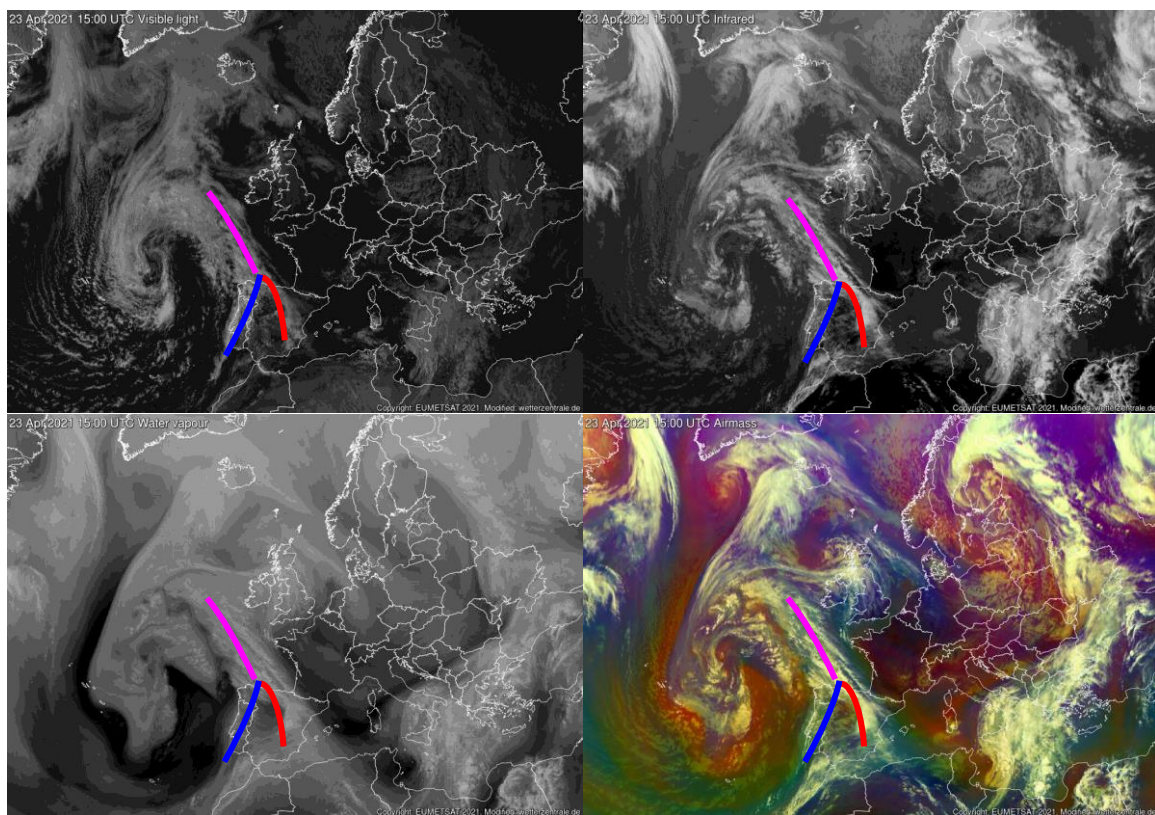


Figura 7.8: 23 de abril de 2021 / 15.00UTC - Imagen del Meteosat 8 VIS (superior izquierda.), IR (superior dcha.), WV (inferior izda.) y masas de aire RGB (inferior izda.). Fuente: <https://www.wetterzentrale.de/>

Se aprecia como los tonos grises más brillantes en el borde trasero se vuelven más tenues hacia el borde delantero en la imagen VIS.

En IR existen valores de píxeles más brillantes hacia el borde de la nube hacia adelante y hacia abajo.

Los altos valores de píxeles brillantes en el área de la región de la banda de nubes frontal y el fuerte gradiente de blanco a negro en VW, es un indicativo clave.

En las masas de aire RGB se aprecia una línea delgada de color azul indicando aire más frío y la banda de WF se corresponde con los tonos verdes de aire cálido.

En la imagen polvo RGB detrás de los colores azul-rosado que representan tierra y mar sin nubes un filamento de color negro acompaña la región del eje del chorro, seguido de nubosidad espesa en color rojo y nubosidad más baja en tonos ocres.

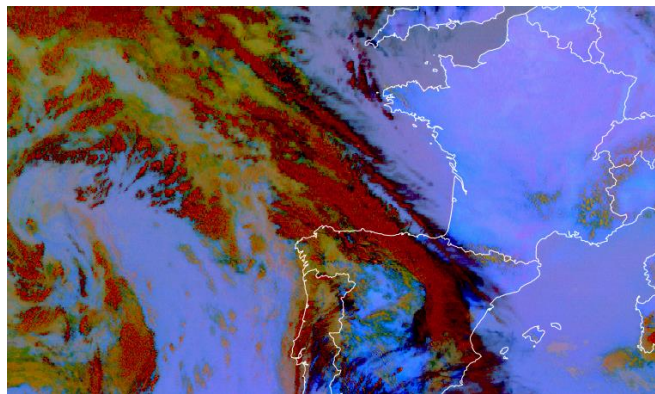


Figura 7.9: 23 de abril de 2021 / 15.00UTC - Imagen del Meteosat 8 polvo RGB. Fuente: <https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>

Por otra parte, el análisis en superficie coincide con las apreciaciones en las imágenes satélite. A las 18.00UTC la oclusión completa ya había ocurrido.

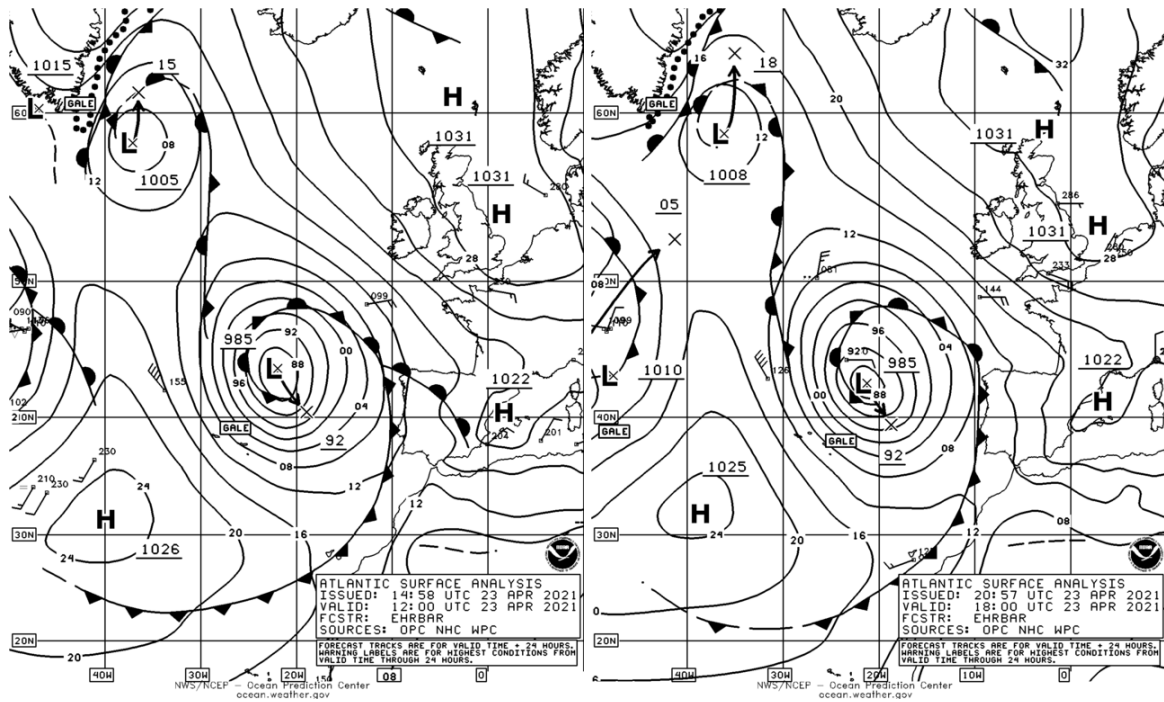


Figura 7.10: 23 de abril de 2021 / 12.00-18.00UTC – Análisis en superficie de la NOAA.

Fuente: <https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/>

Encontrándose el buque ese mismo día en el Dispositivo de separación de tráfico de Finisterre con destino Vannavalen (Noruega) se pudo apreciar el desarrollo de los acaecimientos meteorológicos típicos empezando por el descenso de la presión en superficie al principio, el ligero incremento de la temperatura tras el paso frontal y el aumento de la nubosidad estratiforme progresivo, con nubes más desarrolladas y precipitación después.

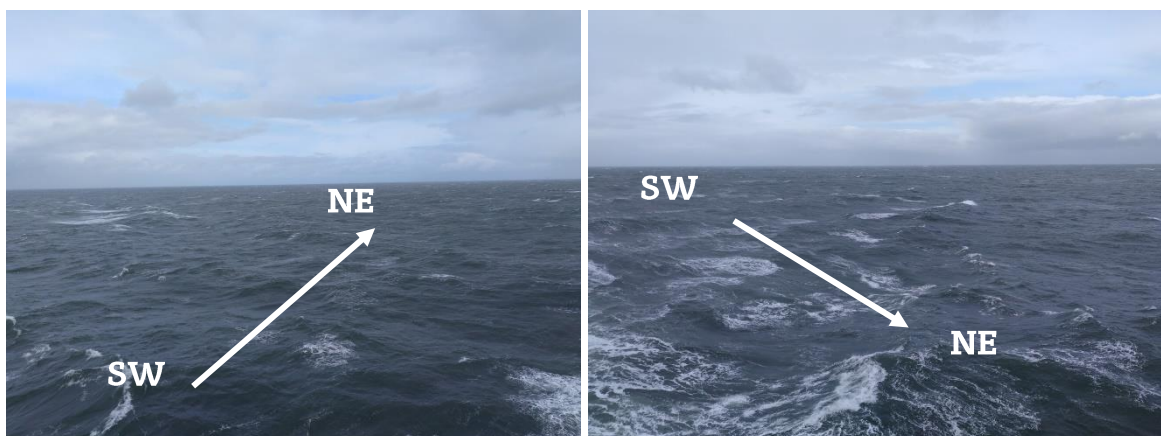


Figura 7.11: 23 de abril de 2021 / 08.00-10.00UTC – A bordo, rumbo NE ¼ al N al E de Finisterre se pudo apreciar el aumento de la nubosidad gradual y la mar de SW que precedían el paso frontal. Fuente: propia



Figura 7.12: 23 de abril de 2021 / 10.30UTC – La lluvia no tardaría en llegar, en este caso en forma moderada. Fuente: propia

Tabla 7.4: Resumen de eventos meteorológicos en un frente cálido. Fuente: varias

Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> - Bandas de lluvia típicamente de 50 kilómetros de ancho y algunos cientos de kilómetros de largo, generalmente orientadas con una pequeña desviación de ángulo con respecto al frente de la superficie - Precipitación leve, moderada o fuerte delante del frente de superficie - En invierno, la nieve se encuentra por delante del frente de la superficie. También es posible la lluvia helada - Después de que pasa el frente, pueden ocurrir pequeñas áreas de llovizna (nieve ligera en invierno)
Presión	- Desciende al principio para mantenerse ligeramente durante el paso del frente
Temperatura	- Aumenta tras el paso del frente
Viento	<ul style="list-style-type: none"> - Rolada del viento cuando pasa el frente - En ocasiones, en el sector cálido, los vientos aumentarán y serán más racheados
Otros	<ul style="list-style-type: none"> - Las áreas de precipitación se mueven más rápido que el frente de la superficie (también están incrustadas en la cinta transportadora caliente) - A veces, la formación de hielo de moderada a severa ocurre antes del frente de la superficie - En invierno, el sector cálido tiene un alto riesgo de niebla - En el sector cálido, también es posible una turbulencia de bajo nivel - En verano, los truenos son posibles, con el mayor riesgo en el lado cálido del frente - Aparte de la niebla en las temporadas de invierno y primavera, el sector cálido es típicamente un área seca con parches claros de regiones sin nubes

7.4 FRONTÓLISIS

Un pequeño caso de frontólisis se pudo apreciar el 13 de marzo de 2021, donde las imágenes de satélite muestran una disipación parcial temporal de la nubosidad a mesoescala sobre el Golfo de Vizcaya, dentro de una banda de nubes frontal que duró unas siete horas. En este caso, parece que la descomposición frontal la causó la elongación por el debilitamiento del FF que terminaría juntándose a un FC de otro sistema frontal posterior.

En la imagen VIS se ve que la disipación contiene parches de nubes delgadas y no llegan a desaparecer por completo.

La imagen IR muestra claramente que la descomposición de las nubes comienza desde el lado posterior más frío y seco de la banda frontal, con un área oscura que se prolonga hasta el NW del Golfo de Vizcaya.

La banda WV de color gris claro se oscurece desde el borde trasero (en este caso al N).

Muy similar al IR, en las masas de aire RGB se aprecia una región casi libre de nubes donde los colores azules indican masas de aire frío aguas abajo, que se pueden ver en los colores azules. En la parte trasera del FD (en este caso al N), el marrón oscuro representa las masas de aire frío y seco.

El buque había salido del puerto de Gijón con destino Bourdeaux y se pudo apreciar el paso del FF en la mar, con la característica rolada del viento a la derecha y la bajada de la temperatura. Pero en este caso, se dio la ausencia de nubosidad y de precipitaciones en todo el proceso.

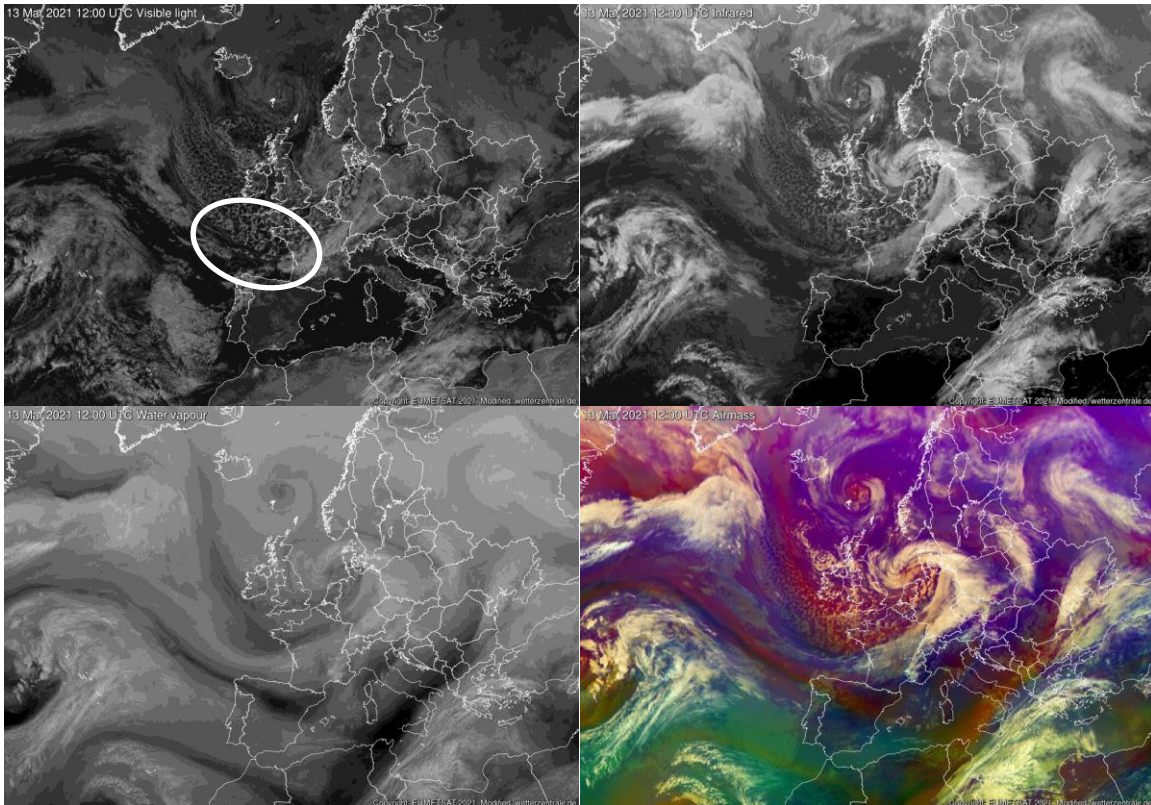


Figura 7.13: 13 de marzo de 2021 / 12.00UTC - Imagen del Meteosat 8 VIS (superior izda.), IR (superior dcha.), WV (inferior izda.) y masas de aire RGB (inferior izda.).

Fuente: <https://www.wetterzentrale.de/>



Figura 7.14: Durante el paso frontal hubo ausencia nubosidad y precipitaciones en todo momento. Fuente: propia

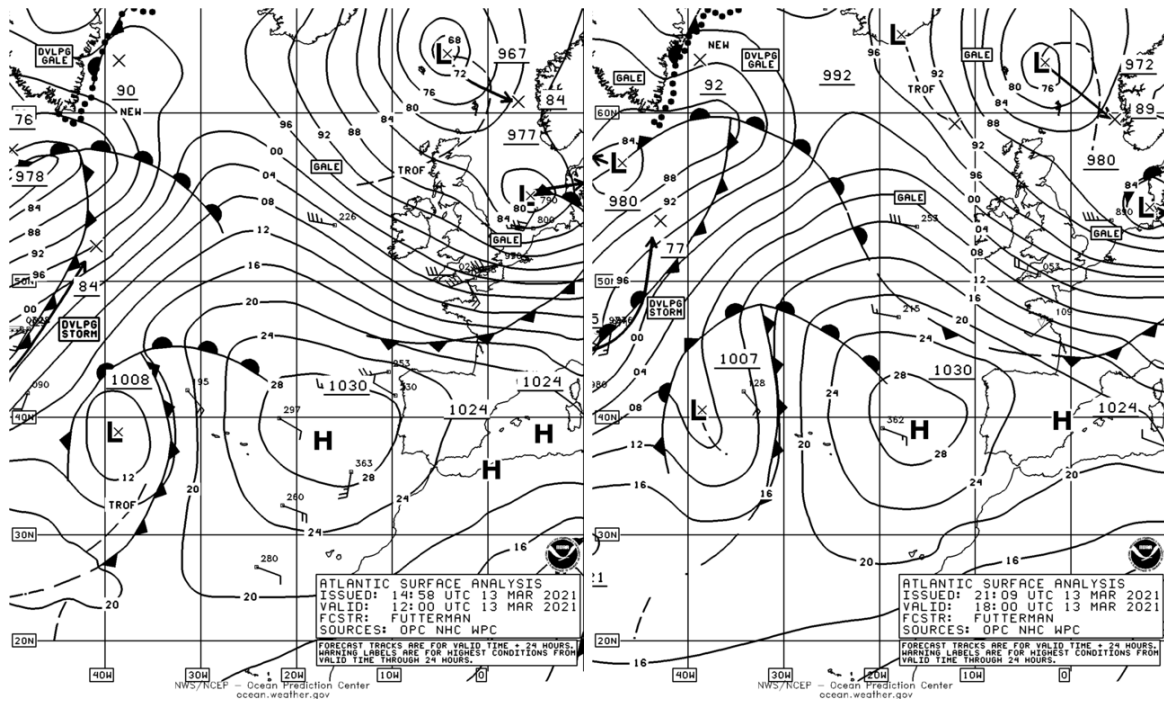


Figura 7.15: 13 de marzo de 2021 / 12.00-18.00UTC – Análisis en superficie de la NOAA donde se puede ver cómo el FF termina juntándose con un FC en la dorsal del Anticiclón de las Azores. Fuente: <https://www.ncei.noaa.gov/data/ncap-charts/access/>

Tabla 7.5: Resumen de eventos meteorológicos en un frente cálido separado. Fuente: *varias*

Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema frontal inicial: precipitación - Decaimiento frontal: la precipitación se detiene sobre la zona de disipación de nubes en relación con el crecimiento de la brecha de nubes - Desarrollo de zona seca: aguas arriba o aguas abajo de la zona de disipación el frente sigue siendo muy activo (posibles áreas de intensificación del frente)
Temperatura	- Sin relación
Viento	- Sin relación
Otros	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema frontal inicial: nubosidad multicapa - Decaimiento frontal: disipación de nubosidad alta y media - Disipación de nubosidad baja solo en la etapa madura - Cuando la brecha de nubes se cierra nuevamente, no se pueden ver eventos climáticos significativos

7.5 CICLOGÉNESIS EXPLOSIVA

El caso del 27 y 28 de enero de 2021 es un claro ejemplo que muestra muy bien todas las etapas de desarrollo de una ciclogénesis explosiva, de modo que la baja presión en su centro pasó de estar por encima de los 1000hPa el día 27 a las 12.00UTC a unos 970hPa 24 horas más tarde. El desarrollo tiene lugar en el Atlántico, a partir de aproximadamente 40°N, 40°W (a la altura de las Azores) avanzando ligeramente hacia el NE hacia las Islas Británicas bordeando el anticiclón atlántico. El día 30 a mediodía su centro se encontraba sobre la Bretaña francesa, aún con 980hPa de profundidad.

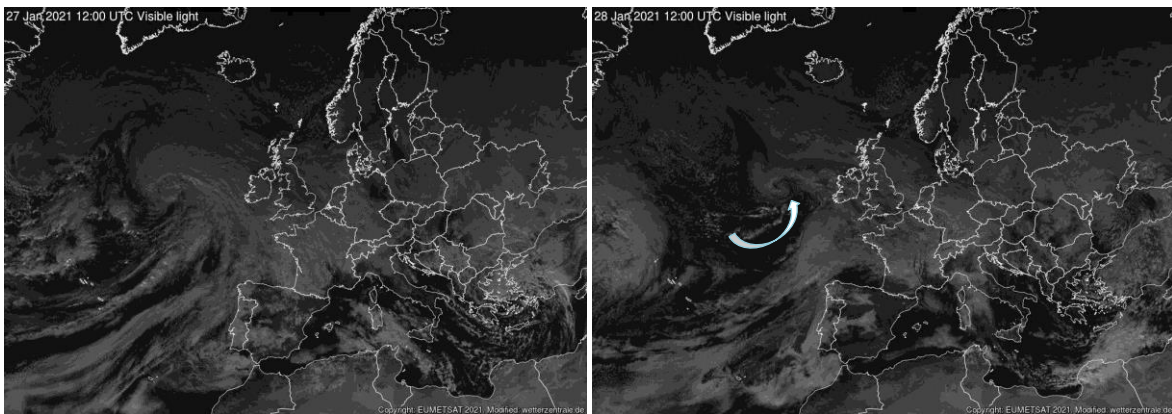


Figura 7.16: En las imágenes VIS del Meteosat 8 se puede apreciar el rápido movimiento de las masas de aire en 24h en los cuadrantes SW y SE de la borrasca (izda.: 27 de enero de 2021 / 12.00UTC; dcha.: 28 de enero de 2021 / 12.00UTC). Fuente:

<https://www.wetterzentrale.de/>

En IR se puede apreciar el desarrollo de nubes que forman un escudo cada vez más denso formando la cabeza, en el lado de los polos de la banda de nubes frontal y que sobresale por debajo de ella.

En el proceso de rápido desarrollo, el área oscura y sin nubes entre la banda de nubes del frente frío y la cabeza de las nubes forma un patrón en V que crece hasta convertirse en una espiral de nubes con curvas ciclónicas con una amplia zona oscura entre la espiral y la banda de nubes frontal.

En la etapa final se aprecia claramente que la parte trasera de la nube frontal fría se disuelve como consecuencia del aire seco que se hunde.

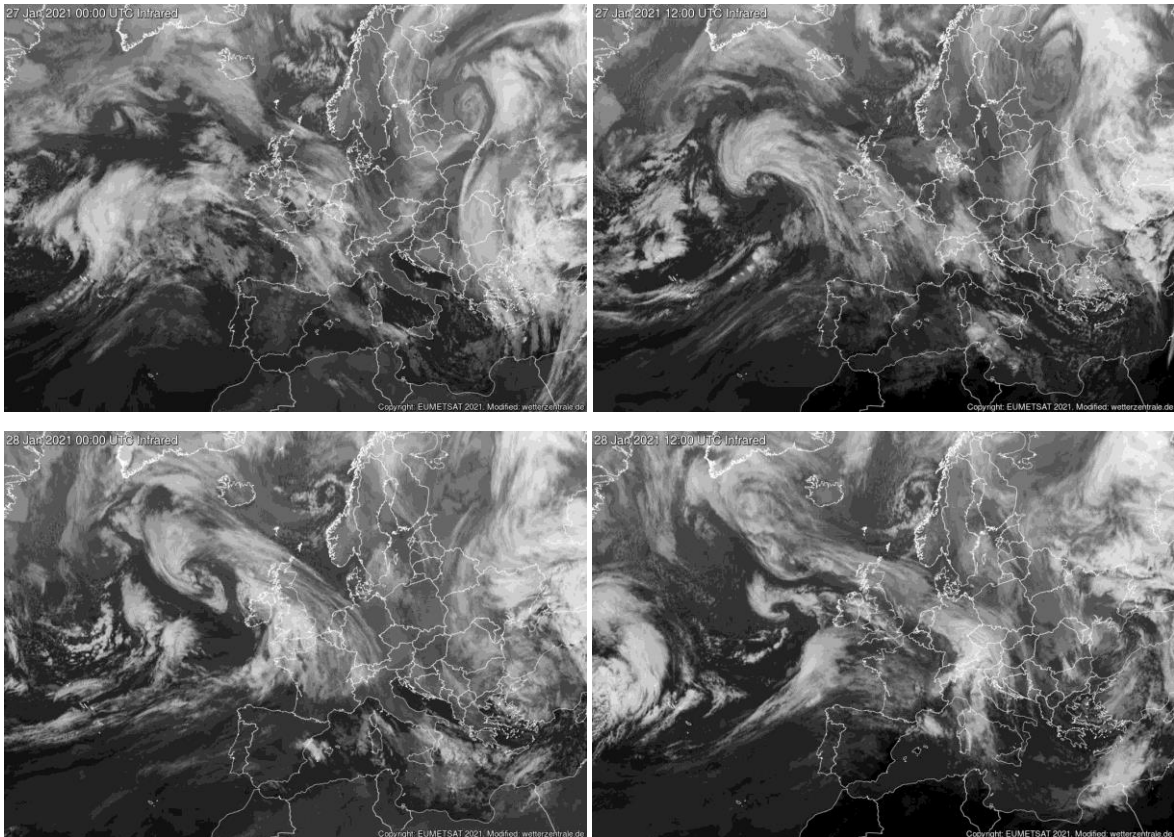


Figura 7.17: Las imágenes IR del Meteosat 8 muestran la rápida evolución del sistema por medio de la zona oscura que comienza adquiriendo forma en V hasta formarse una espiral en la cabeza. Fuente: <https://www.wetterzentrale.de/>

A partir de las características de las imágenes WV y masas de aire en RGB, se observa que el aire seco que se hunde tiene un impacto significativo en la configuración de la nube.

En la secuencia de imágenes de WV se observa como la cabeza de nube emergente en la etapa inicial y de desarrollo de la rápida ciclogénesis aparece en la región de salida izquierda de la corriente en chorro.

En la etapa inicial del desarrollo, se puede ver el aire seco que se hunde desde la estratosfera a lo largo del lado ciclónico de la corriente en chorro en la franja gris oscura a lo largo del borde norte de la banda de nubes frontal blanca (2). El oscurecimiento de esta franja indica que el aire seco se mueve hacia abajo en la troposfera superior.

Antes de que comience el desarrollo, la franja gris oscuro es más clara aguas arriba de la cabeza de la nube (1).

En la siguiente etapa, la franja gris oscuro se acerca a la cabeza de la nube y finalmente forma un patrón en V típico junto con la cabeza de la nube (3).

En la etapa avanzada, la cabeza de la nube se ha convertido en una espiral de nubes curva ciclónica con una zona oscura entre la espiral y la banda de nubes frontal (4).

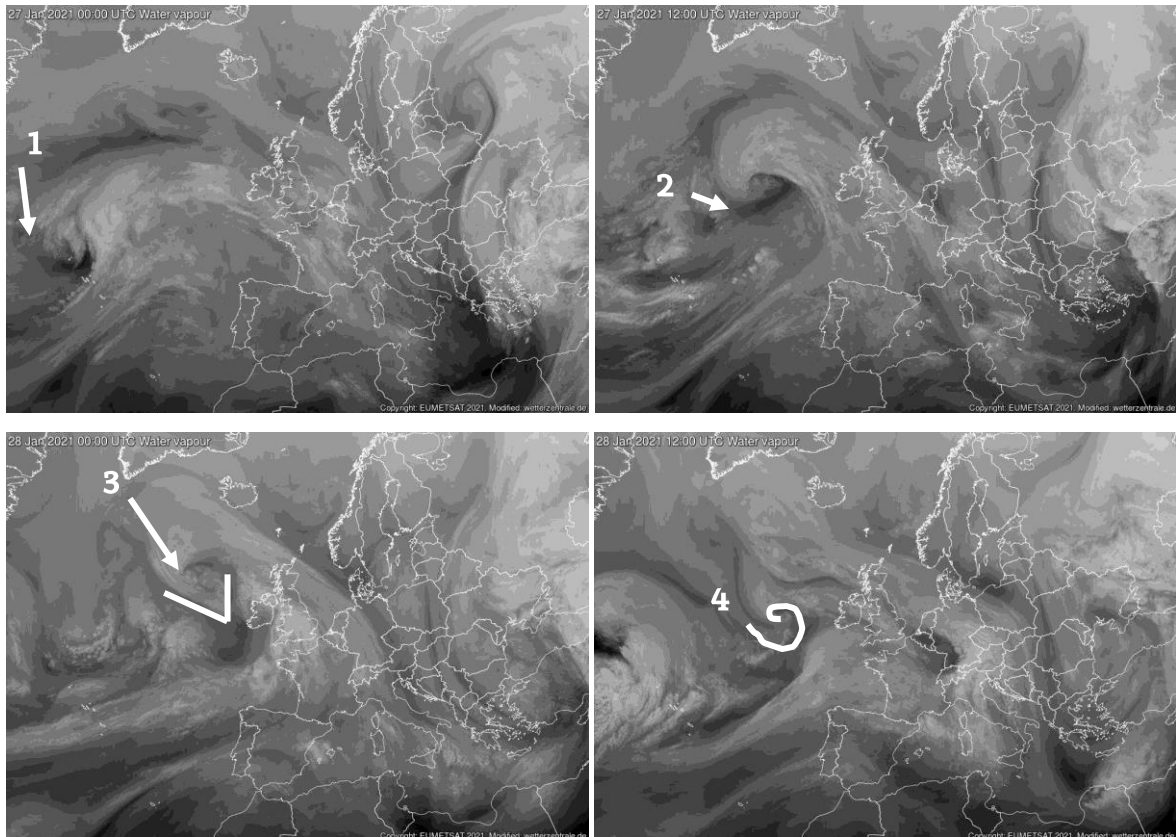


Figura 7.18: Las imágenes WV del Meteosat 8 tienen un papel clave para la identificación de la ciclogénesis explosiva utilizando los fundamentos del modelo conceptual.

Fuente: <https://www.wetterzentrale.de/>

En las imágenes de las masas de aire en RGB la franja marrón oscura a lo largo y en la parte posterior de la banda de nubes frontal es el indicativo del aire estratosférico frío y seco que se hunde.

En la fase inicial, esta franja se extiende de oeste a noroeste, hacia el borde posterior de la cabeza de la nube (1). Más tarde, la franja se ensancha e intensifica en un patrón en V distintivo entre la cabeza de la nube y la banda frontal de la nube (2).

En la etapa avanzada, el patrón en V pasa a llenar un área pequeña de agujero circular en el centro de la espiral de nubes en desarrollo (3).

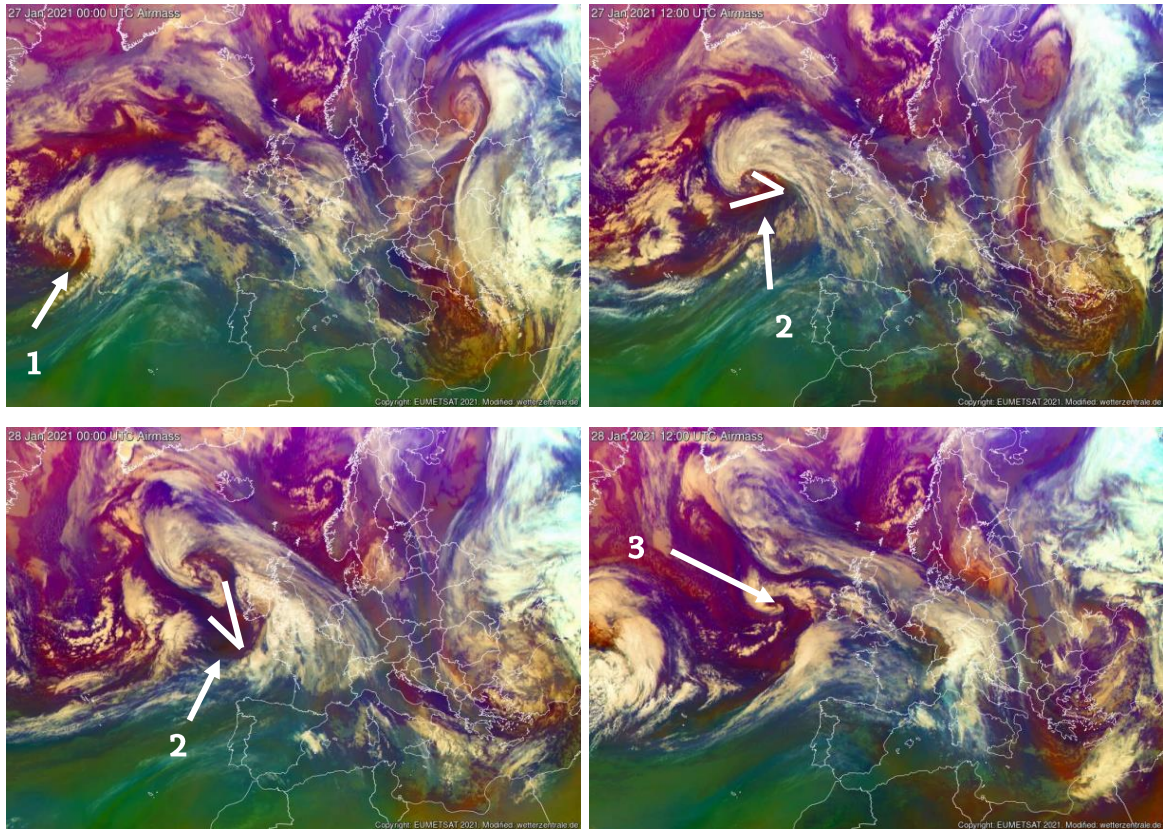


Figura 7.19: Las imágenes de las masas de aire en RGB del Meteosat 8 en intervalos de 12h para los días 27 y 28 de enero de 2021. Fuente:

<https://www.wetterzentrale.de/>

Consultando los análisis de presión en superficie y oleaje para esos días, se puede observar la rápida formación de la borrasca y el efecto que tiene en generar una mar arbolada en apenas 48h.

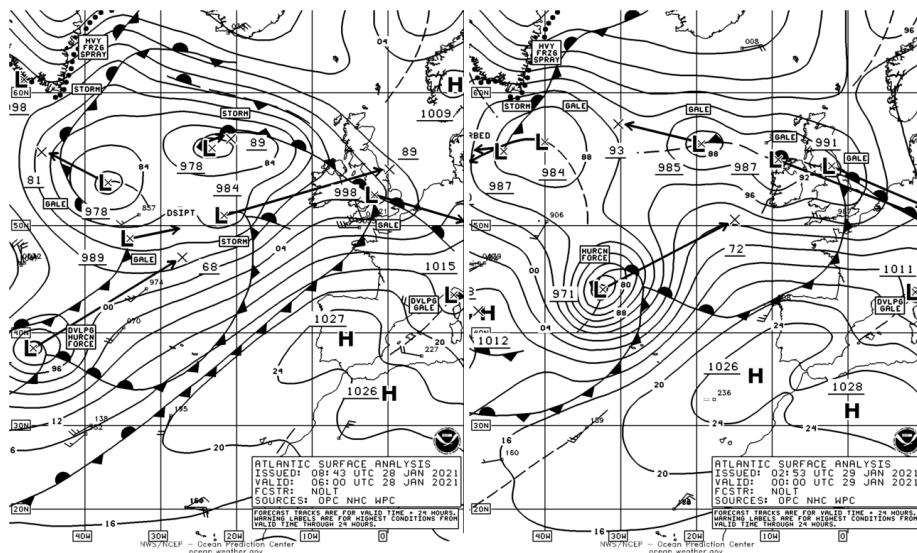


Figura 7.20: Análisis en superficie de la NOAA a primera hora del día 28 enero de 2021 y a media noche del mismo día. Fuente: <https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/>

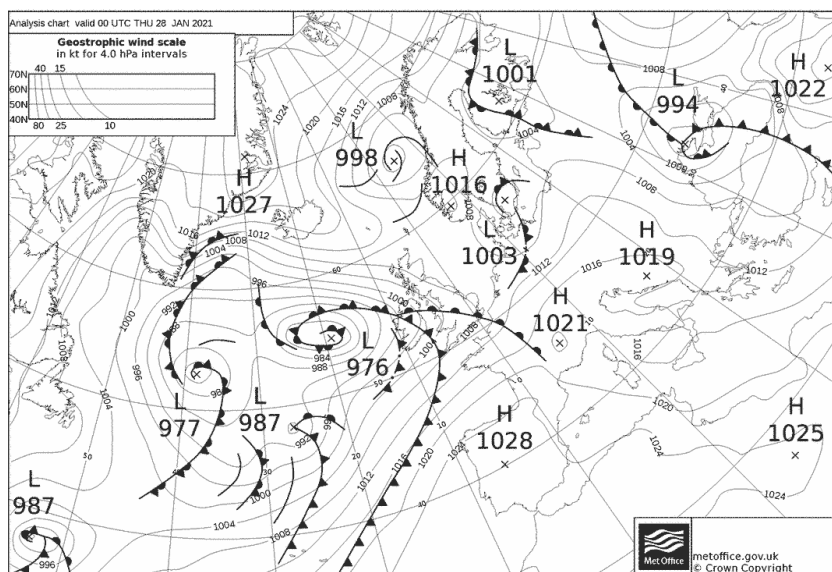


Figura 7.21: En el mapa de análisis en superficie de la MetOffice el día 28 de enero de 2021 a las 00.00UTC pueden obtenerse datos de la fuerza del viento de forma más general. Fuente: http://homepages.see.leeds.ac.uk/~lecimb/met/metoffice_charts/

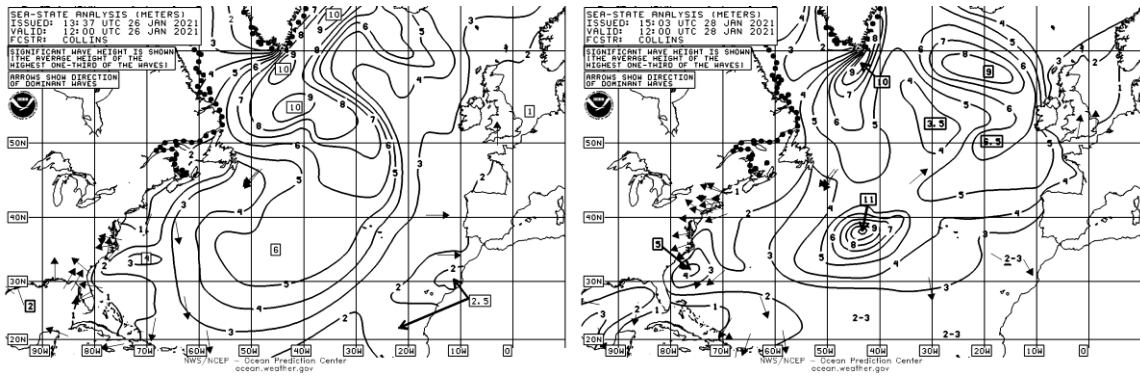


Figura 7.22: Los mapas de análisis del estado de la mar de la NOAA reflejan un aumento súbito del oleaje al W de las Azores en apenas 48h. Fuente:

<https://www.ncei.noaa.gov/data/ncep-charts/access/>

El efecto más destacado de la ciclogénesis, tal y como se destacó en los avisos, fue el temporal del viento que afectó sobre todo al Cantábrico. La altura significativa de ola medido en las diversas boyas estuvo alrededor de los 10m (9.84m el día 30 en Bilbao a las 20.00UTC, ver **Figura 7.23**).

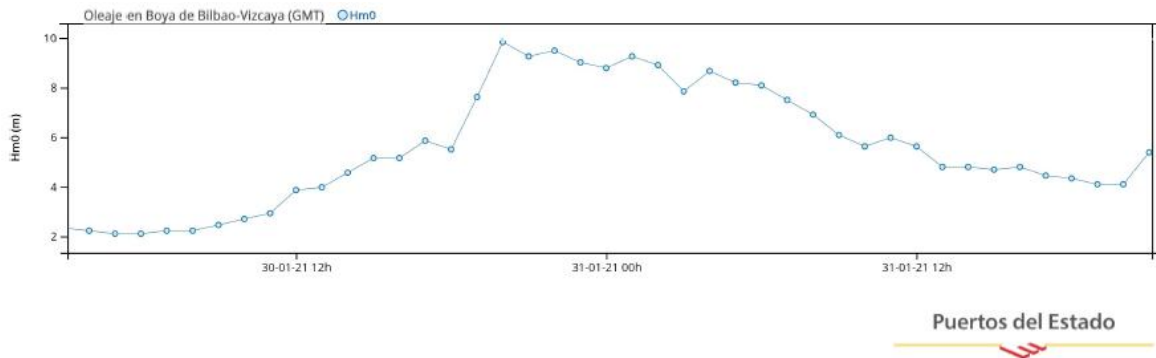


Figura 7.23: Medición de la altura de ola significativa en la boya meteorológica de Bilbao-Vizcaya en 43-64N y 003-05W los días 30 y 31 de enero de 2021. Fuente:

<https://portus.puertos.es/#/>

En esta ocasión el buque permaneció al abrigo en el puerto de Bayonne (Francia) desde el día 28 de enero y no salió a la mar hasta la última hora del primer día de febrero, al finalizar las operaciones de carga.



Figura 7.24: La imagen tomada a bordo a mediodía el día 28 de enero de 2021 a 17 millas náuticas al N de Bilbao no daba indicios de que a esas horas, algo gordo se estaba desatando al NW del Golfo de Vizcaya. Fuente: propia

Tabla 7.6: Resumen de eventos meteorológicos en una ciclogénesis explosiva

Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> - Intensa asociada con la corriente cálida. - Tormentas eléctricas dentro del borde interior de la cabeza de la nube en el lado occidental de la superficie baja. También pueden desarrollarse dentro de la zona seca
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento sustancial de la temperatura en superficie dentro del área de la corriente cálida
Viento	<ul style="list-style-type: none"> - Vientos fuertes dentro del área de la cabeza de la nube. En casos extremos, los vientos pueden alcanzar la fuerza de un huracán - Ráfagas muy fuertes en la zona de transición entre oscuro y blanco como se puede ver en los canales de WV cerca del frente frío y la cabeza de las nubes - Posibilidad de desarrollo de un chorro de agujón a en las etapas avanzada y madura en el semicírculo sur de la baja y sur de la espiral de nubes en descomposición - Los casos de chorros de agujón pueden involucrar vientos con fuerza de huracán con ráfagas de hasta 100kts
Otros	<ul style="list-style-type: none"> - Caídas y subidas de presión muy fuertes. En la etapa inicial, las caídas por delante superan a las subidas por detrás

8. CONCLUSIONES

Haizea, emaztea eta fortuna kanbiateko errex dire, ilargia bezela

Como se ha podido ver en el trabajo, el empleo de las imágenes satélite como complemento para el seguimiento de los acaecimientos meteorológicos en tiempo real es una herramienta muy potente con un amplio espectro de capacidades y posibilidades y se considera de gran interés para el marino.

Para el empleo de éstas, es fundamental la comprensión y la práctica con los modelos conceptuales meteorológicos. Dentro del papel que los modelos conceptuales proporcionan al marino para el pronóstico inmediato se encuentran los siguientes puntos:

- Ayudar a comprender y diagnosticar fenómenos;
- Una síntesis de toda la información disponible;
- Adquirir una imagen mental completa en cuatro dimensiones;
- La base para aislar los procesos climáticos;
- La base para extraer las señales principales de patrones complejos;
- Herramientas de apoyo al diagnóstico de modelos numéricos;
- Un complemento de los modelos numéricos para la escala de tiempo de pronóstico inmediato;
- Herramientas para identificar errores en el pronóstico numérico;
- Herramientas para la modificación de productos numéricos;
- Un método de pronóstico rápido;
- Un método de pronóstico independiente;
- Un método de pronóstico especialmente para condiciones meteorológicas peligrosas;
- La posibilidad de llenar vacíos en los datos.

De todas maneras, en lo que a meteorología se refiere, el marino experimentado ha de ser consciente de que cualquier teoría debe ser tratada con cuidado. En el afán de sintetizar una gran cantidad de datos y análisis en un esquema visual, los modelos conceptuales pueden llegar a omitir detalles que

en la realidad hacen posible una amplia variedad de estructuras frontales y evoluciones.

Otra técnica como la comparativa de los datos de predicción con las últimas imágenes satélite permite contrastar y realizar análisis más completos a la hora de trabajar con planes de viaje. De esta forma, el marino obtiene una imagen más amplia a tiempo casi real de los acaecimientos en el momento y a bordo del buque y la evolución de éstos observando los datos reales para diferentes puntos.

La mayor preocupación del marino son los episodios de muy mal tiempo o tiempo severo, que es cuando un pronóstico preciso se hace imprescindible. La recomendación que se obtiene por medio de éste trabajo es la siguiente:

1. Aplicar las buenas prácticas marineras en la recopilación y el tratamiento de la información de forma metódica;
2. Utilizar las fuentes de información meteorológica que muestren los resultados basados en múltiples modelos numéricos. En este caso, si se trata de información ya interpretada por un meteorólogo marino, mucho mejor.
3. Conocer los puntos fuertes y las debilidades de cada modelo de previsión (esto puede variar en función de la zona de interés) y aprovecharlos al máximo. Las pautas a seguir comienzan por la consulta de los partes para la zona a partir de los modelos globales que mejor cobertura den a esa zona (de esta forma se tiene una idea general de los futuros acontecimientos), seguido de una comparación con los modelos de mesoescala y las interpretaciones de éstos por los profesionales, para la zona en cuestión. En este punto, la experiencia individual y el conocimiento de las diferentes zonas de navegación es un plus;
4. Ignorar cualquier previsión de más de siete (7) días que no utilice múltiples modelos y no ofrezca los distintos escenarios posibles. Debería

- ofrecer las probabilidades de ocurrencia y en el caso de predicciones a más largo plazo, las tendencias;
5. Entender que en las salidas a más largo plazo hay ciertas divergencias achacables al carácter caótico de la atmósfera más que a la imprecisión de los modelos;
 6. Las previsiones a corto plazo no tienen nada que ver con las que se hacen a tres (3), cinco (5) o diez (10) días vista y, por tanto, no se les puede atribuir la misma fiabilidad;
 7. Ser conscientes de las webs que actualizan la información con más frecuencia, para el posible caso de los avisos de última hora;
 8. Analizar cuidadosamente toda la información obtenida y tratar de aplicar los conocimientos adquiridos en la interpretación de las imágenes satelitales para hacer un seguimiento y una valoración lo más objetiva posible del posible desarrollo de los acaecimientos meteorológicos. Solo con la práctica, el marino será consciente de la mejora en la técnica.

9. LÍNEAS FUTURAS

Banda del norte a mediodía, agua segura al otro día

9.1 AVANZAR Y CONTINUAR CON EL ESTUDIO

El acceso a la información de los modelos numéricos ha evolucionado de tal forma que hoy en día es posible realizar predicciones meteorológicas con la ayuda de software específico de tratamiento de datos numéricos aplicado también a las imágenes por satélite. A partir de los datos de salida de los diferentes modelos se pueden obtener predicciones en forma de imágenes en los canales básicos mostrados en el trabajo. Se considera que el empleo de dichas imágenes es otro paso más a la hora de manejar datos meteorológicos para el propósito de una navegación segura y eficiente.

Por otro lado, es necesario el avance en materia del conocimiento y la comprensión de más modelos conceptuales (tanto generales como característicos de zonas concretas). Como se ha visto, el trabajo puede continuar en el estudio de más modelos aplicados para la zona del Golfo de Vizcaya, para después ir ampliándose a otras zonas de navegación.

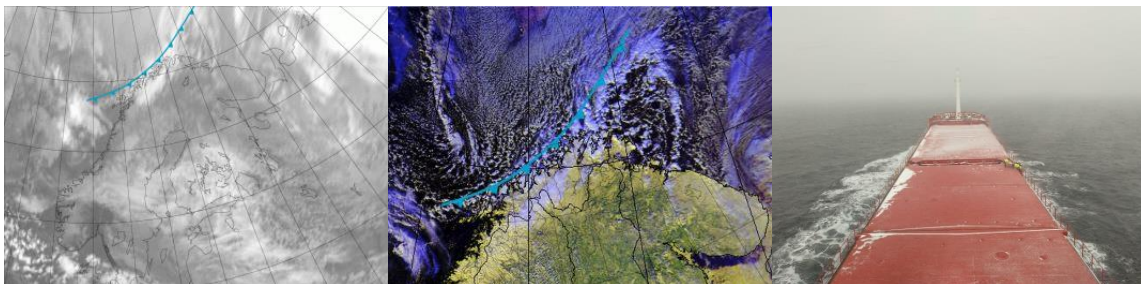


Figura 9.1: Ejemplo del estudio del modelo conceptual de frente frío ártico para la zona del mar de Barents, siguiendo la metodología propuesta en este trabajo. Fuentes: <http://www.eumetrain.org> y propia

Por mencionar más modelos conceptuales considerados interesantes para la navegación marítima que se pueden aplicar a la zona estudiada se citan a continuación algunos:

- Modelo conceptual de frente dividido;
- Modelo conceptual de intensificación frontal por *Jet Crossing*;
- Modelo conceptual de líneas de convergencia no orográfica;

- Modelo conceptual de coma;

Entre modelos conceptuales más específicos de pequeña escala existen dos especialmente interesantes que afectan en menor medida a la navegación comercial, pero que resultan importantes para la navegación de recreo o el sector pesquero: el modelo conceptual de brisas marinas y el modelo conceptual de Galerna del Cantábrico.

Debido a que la información relativa a éste último es escasa y de que se trata de un fenómeno particular de la zona de origen del autor de este trabajo, la caracterización de un modelo conceptual para el caso de la Galerna del Cantábrico se considera de gran interés.

Existen varios modelos conceptuales que permiten explicar la génesis de las galernas²², aunque lo cierto es que es un tema que todavía no está lo suficientemente claro. En cualquier caso, los modelos conceptuales que se utilizan para explicar fenómenos similares a las galernas son dos: las ondas internas de Kelvin y las corrientes de densidad atrapadas por la orografía. Por lo que la elaboración de un modelo conceptual estandarizado para la Galerna del Cantábrico podría partir de los puntos mencionados.

9.2 LA SIGUIENTE GENERACIÓN DE SATÉLITES²³

A fin de asegurar la cobertura de datos e imágenes de la atmósfera durante las próximas décadas, el actual Programa Meteosat de Segunda Generación será sustituido por un nuevo programa de satélites geoestacionarios: los Meteosat de Tercera Generación (MTG).

El avance que supondrá MTG en materia de información y calidad de los servicios meteorológicos ofrecidos, supone una mejora más en el continuo desarrollo tecnológico del ser humano que se podrá aplicar en las materias trabajadas aquí.

²² Uno de los trabajos dignos de mención es el titulado *Modelo conceptual de galerna no frontal* de Eduardo Arasti Barca presentado en el IV Simposio Nacional de Predicción. <https://www.divulgameteo.es/fotos/meteoroteca/Modelo-conceptual-galerna-no-frontal.pdf>

²³ <https://www.aeroespacial.sener/productos/meteosat-tercera-generacion-mtg>

El sistema MTG aumenta hasta cinco las misiones básicas de observación atmosférica al incluir las nuevas misiones de sondeo por infrarrojos y de detección de rayos y la observación continua de la composición atmosférica y la calidad del aire. La resolución de las observaciones de los satélites MTG aumentará en los aspectos espacial (uno a dos kilómetros para las observaciones clave), temporal (se pasa a ciclos de diez minutos en lugar de los quince del actual) y espectral (dieciséis canales en lugar de los doce anteriores). Con ello se podrán proporcionar nuevos productos útiles para el estudio del clima tales como energía irradiada por incendios forestales y la evaluación de la producción de dióxido de carbono. Asimismo, se espera un avance histórico en la predicción de la precipitación mediante el uso de esta nueva información tridimensional.

MTG estará formado por seis satélites de dos tipos diferentes: cuatro satélites de toma de imágenes (MTG-I1, I2, I3, I4) y dos satélites de sondeo (MTG-S1, MTG-S2). En los satélites MTG-I, el instrumento principal será el FCI (*Flexible Combined Imager*) cuyas medidas redundarán en mejores predicciones inmediatas y avisos de tiempo severo. Los canales adicionales permitirán un importante avance en la vigilancia de la calidad del aire. En los satélites MTG-S, el instrumento principal será el IRS (*InfraRed Sounder*). Además, la misión de detección de rayos que por primera vez se incluye en los satélites meteorológicos mejorará significativamente la localización de tormentas, proporcionando mayor seguridad a sectores tan sensibles a esos fenómenos como el sector marítimo. Los satélites serán lanzados a partir de 2021.

10. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y WEBS DE INTERÉS

Larrunen gerrikua, hogeitalau orduko eurikua, lengo zaharren predikua

Bibliografía

Dr. Veronika Zwatz-Meise y varios. *Manual of Synoptic Satellite Meteorology v6.8.* Web del Instituto Central de Meteorología y Geodinámica de Alemania, Alemania

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/main.htm>

Christo Georgiev, Patrick Santurette and Karine Maynard. *Weather Analysis and Forecasting; 2nd Edition.* Elsevier, London, 2016

José Fenollar Moncho. *Estudio de nubes convectivas ligadas a un sistema frontal mediante imágenes en el canal IR de Meteosat.* Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2018

Jean-Yves Bernot. *Météo et stratégie; Croisière et course au large.* Editorial Juventud, Barcelona, 2006

Guías Glénans. *La meteorología marina; 6^a Edición.* Tutor Náutica, Madrid, 2008

Steve and Linda Dashew. *Mariners Weather Handbook; A guide to forecasting and tactics.* Beowulf, Tucson, 1999

Ramón Fisure Lanza. *Meteorología y oceanografía.* Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz, 2009

R.M. Frampton and P.A. Uttridge. *Meteorology for Seafarers.* Brown, son & Ferguson, Glasgow, 1997

World Meteorological Organization. *The Preparation and Use of Weather Maps by Mariners.* WMO, Geneva, 1983

Frank R. Spellman. *The Handbook of Meteorology.* Scarecrow, Plymouth, 2013

Frank Singleton. *Reeds Weather Handbook.* Bloomsbury, London, 2013

D. Gumersindo Vicuña. *Manual de meteorología popular.* Biblioteca Enciclopédica Ilustrada, Madrid, 2009

Carlos Puente. *Meteorología popular o refranero meteorológico de la península ibérica.* Maxtor Librería, Madrid, 2014

Otras webs de interés

Simbolos sinópticos utilizados en meteorología

http://www.australianweathernews.com/synoptics_help.htm

<https://www.dtn.com/the-power-of-weather-symbols/>

Mapas sinópticos, análisis, imágenes satélite del continente europeo, además de predicciones a partir de los modelos **GFS, IFS, WRF, ICON, HIRLAM, ARPEGE** y **GEM.**

<http://www.wetterzentrale.de/>

<https://view.eumetsat.int/productviewer?v=default>

<https://eumetview.eumetsat.int/mapviewer/>

<http://meteocentre.com/>

https://ocean.weather.gov/Atl_tab.php

https://ocean.weather.gov/past_products.php

<https://www.ncei.noaa.gov/data/ncsp-charts/access/>

<https://www.windy.com/>

<https://www.weathercharts.org/>

