

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
SECCIÓN DE NÁUTICA, MÁQUINAS Y
RADIOELECTRÓNICA NAVAL**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Título:

METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA MARÍTIMA

Titulación: GRADO EN NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO

Alumno: JONATHAN O. MEDINA RODRÍGUEZ

Director: D. JUAN ANTONIO ROJAS MANRIQUE

Marzo 2018

D. Juan Antonio Rojas Manrique, Profesor Asociado al UD CCTT Navegación de la Universidad de La Laguna certifica que:

D. Jonathan O. Medina Rodríguez, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: "METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA MARÍTIMA".

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente Certificado.

En Santa Cruz de Tenerife a 6 de marzo de 2018.

Fdo.: Juan Antonio Rojas Manrique.

Director del trabajo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	pag11
2. LA METEOROLOGÍA	pag13
2.1 HISTORIA DE LA METEOROLOGÍA NÁUTICA	pag13
2.2 ESCALA MARÍTIMA DE MAR. DOUGLAS	pag13
2.3 ESCALA MARÍTIMA DE LOS VIENTOS. BEAUFORT.	pag13
2.4 PREDECIR A BORDO	pag17
2.4.1 BARÓMETROS	pag17
2.4.2 BARÓGRAFOS	pag18
3. BORRASCAS Y ANTICICLONES.	pag20
3.1 BORRASCAS	pag20
3.2 ANTICICLONES	pag 21
4. CICLONES TROPICALES	pag 23
4.1 ESTRUCTURA FÍSICA	pag 24
4.2 REGIONES PRINCIPALES	pag 25
4.3 FORMACIÓN	pag 25
4.4 ÉPOCA DE FORMACIÓN	pag 26
4.5 ESCALA DE CICLONES DE SAFFIR-SIMPSON	pag 27
5. TIPOS Y CLASIFICACIONES DE LAS NUBES	pag 30
5.1 NUBES CONVECTIVAS O DE CONVECCIÓN	pag 30
5.2 NUBES OROGRAFICAS	pag 30
5.3 NUBES FRONTALES	pag 30
5.4 NUBES ALTAS	pag 31
5.5 NUBES MEDIAS	pag 32
5.6 NUBES BAJAS	pag 32
5.7 NUBES DE DESARROLLO VERTICAL	pag 33

6. MODELOS METEOROLÓGICOS	pag 36
6.1 GFS (Global Forecast System)	pag 36
6.1.1 GEOPOTENCIAL A 500 hPa	pag 36
6.1.2 TEMPERATURAS A 850 hPa	pag 38
6.1.3 PANEL DE PRECIPITACIÓN (24h)	pag 41
6.2 IFS (Integrated Forecast System)- ECMWF	pag 42
6.2.1 GEOPOTENCIAL A 500 hPa	pag 43
6.2.2 GEOPOTENCIAL A 850 hPa	pag 43
6.3 NCEP- EUROPA.	pag 44
6.3.1 PRECIPITACIÓN	pag 44
6.3.2 TEMPERATURAS	pag 45
6.4 CFS (Climate Forecast System)- NOAA	pag 46
6.4.1 INTERPRETACIÓN DEL MAPA DE PRECIPITACIONES	pag 46
6.4.2 INTERPRETACIÓN DEL MAPA DE TEMPERATURAS	pag 48
7. CONVECTIVE AVAILABLE POTENTIAL ENERGY	pag 51
7.1 MIXED LAYER CONVECTIVE AVAILABLE POTENTIAL ENERGY (MLCAPE)	pag 54
8. FENÓMENOS METEOROLÓGICOS	pag 56
8.1 LAS GALERNAS	pag 51
8.1.1 GALERNA FRONTAL	pag 57
8.1.2 GALERNA HIBRIDA	pag 59
8.1.3 GALERNA TÍPICA	pag 61
8.2 MAREJADA CICLÓNICA	pag 63
8.2.1 MECÁNICA DE LA MAREJADA CICLÓNICA	pag 64
8.2.2 ¿CÓMO PREVENIR LAS MAREAS CICLÓNICAS?	pag 66
8.3 TURBONADA	pag 68
8.3.1 FORMACIÓN	pag 72
8.3.2 EVOLUCIÓN	pag 73
8.3.3 DISIPACIÓN	pag 74

9. CLIMATOLOGÍA	pag 77
9.1 LA SUBIDA DE TEMPERATURAS GRADUAL DEL PLANETA	pag 77
9.2 ASPECTOS POSITIVOS/NEGATIVOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL Y SUCESIVAMENTE DEL DESHIELO DEL ÁRTICO	pag 80
9.2.1 CASO1	pag 80
9.2.2 CASO 2	pag 83
10. HURACÁN OPHELIA	pag 87
10.1 DESARROLLO DE OPHELIA	pag 89
10.2 EFECTOS SOBRE LAS ISLAS BRITANICAS	pag 94
10.3 SITUACIONES SIMILARES	pag 95
11. BIBLIOGRAFÍA/WEBGRAFÍA	pag 98
12. CONCLUSIONES	pag 102

ABSTRACT

Meteorology is the science that studies the properties of the atmosphere that surrounds the Earth. Changes in these properties such as temperatures, pressure, humidity, winds, rain, and others, constitute the weather. Nautical meteorology is part of this science, studying atmospheric phenomena on the surface of the oceans and their influence on maritime navigation. In this work, everything related to meteorology will be developed in depth, focusing on the study of meteorology (meteorological models, meteorological phenomena, etc.), up to the climatology and its changes.

RESUMEN

La meteorología es la ciencia que estudia las propiedades de la atmósfera que rodea la Tierra. Los cambios de estas propiedades como son las temperaturas, presión, humedad, vientos, lluvias, y otros, constituyen el tiempo atmosférico. La meteorología náutica es parte de esta ciencia, estudiando los fenómenos atmosféricos sobre la superficie de los océanos y su influencia sobre la navegación marítima. En este trabajo se desarrollará en profundidad todo lo relacionado a la meteorología, centrándonos en el estudio de la misma (modelos meteorológicos, fenómenos meteorológicos etc.), hasta la climatología y sus cambios.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, reflejará dos grandes temas en los cuales a su vez se dividirá en otros temas de menor contenido. Estos serán la meteorología y la climatología (nombre del trabajo) en cuanto a contenido del propio trabajo.

Respecto al tema de la meteorología, en primer lugar, comenzaré hablando de una pequeña introducción de aspectos generales de lo que es la propia meteorología (tipos de nubes y clasificación de las mismas, borrascas, anticiclones etc.), para luego profundizar en tres apartados: La historia de la meteorología, los modelos meteorológicos (como saber interpretar y predecir con los diferentes modelos que existen en la actualidad) y como tercer y último apartado, los fenómenos meteorológicos adversos que afectan directa e indirectamente al ámbito marítimo.

Como segundo gran tema, la climatología, destacaré el cambio climático y el huracán Ophelia.

Inicialmente con el tema del deshielo en el ártico y de las posibles rutas que se generarían tras el mismo y por tanto los beneficios y repercusiones que tendrían estas rutas.

El segundo será el reciente huracán Ophelia el cual tuvo en vilo a media Europa tras haber llegado a las Islas Británicas como borrasca subtropical y merodear por las cercanías de las Islas Canarias con la categoría de huracán. Dentro de este apartado se hablará del ¿Por qué Ophelia llegó tan al norte?, ¿Fenómeno normal o cambio climático? Y una serie de explicaciones y preguntas las cuales se resolverán en dicho apartado de manera más profunda y detallada.

2. LA METEOROLOGÍA

La meteorología es una ciencia física que estudia los fenómenos que se producen en la atmósfera y las repercusiones que estos puedan causar en el ámbito terrestre y marítimo. Estos cambios pueden ser desde las simples brisas hasta las grandes tormentas que afecten en nuestro planeta, los cuales todos pertenecen al tiempo atmosférico.

La meteorología náutica es parte de esta ciencia, estudiando los fenómenos atmosféricos sobre la superficie de los océanos y su influencia sobre la navegación marítima.

El estado del tiempo es primordial para la navegación, el navegar con oleaje, lluvia, niebla, además de las molestias propias a marinos y pasajeros entraña riesgos de accidentes a los mismos y averías al buque, y a su carga, por ello, se recomienda, antes de hacerse a la mar, tener una información de la previsión del tiempo, obteniéndola de los partes meteorológicos difundido por las Emisoras de radio, TV, radios costeras, prensa, Capitanías Marítimas y los datos de las variables meteorológicas obtenidas a bordo¹

2.1 HISTORIA DE LA METEOROLOGÍA NÁUTICA

La ciencia meteorológica ha sido transmitida por una serie innumerable de marineros, ya que estaban en juego las vidas humanas, desde la primera utilización de velas en las embarcaciones de altura (2000 a.C.).

- En "Los Trabajos y Días", escrito por Hesíodo en el año 800 a.C. se da información sobre el mejor momento para navegar, además de formular advertencias acerca de las crueles intervenciones de los dioses del tiempo. Más tarde, en los viajes más prolongados, se padecieron las diferencias geográficas de los vientos y el tiempo;

- Los fenicios, los vikingos y los árabes, empezaron a reconocer y a sistematizar el conocimiento adquirido sobre los modelos meteorológicos a gran escala y los sistemas de vientos como el monzón y el océano Indico.¹
- Durante los siglos XV y XVI la búsqueda de rutas marinas a la India y Catay por parte de los primeros exploradores como Cristóbal Colón, Vasco da Gama y Fernando de Magallanes, así como los largos viajes de descubrimiento realizados por navegantes como Edmon Halley y James Cook dieron como resultado un conocimiento mucho más amplio de la distribución geográfica del viento, de los modelos de circulación de las corrientes marinas y de las condiciones meteorológicas imperantes en la superficie de la Tierra. Edmond Halley asumió el mando del barco Paramour desde 1698 a 1700 durante un viaje especial al Atlántico Sur (primero con propósitos puramente científicos). Como los barómetros ordinarios no servían para el mar por el movimiento del barco, Halley llevó un barómetro marino, una combinación de termómetro de aire y alcohol, ideado por Robert Hooke. Este barómetro tenía inscripciones tales como "mucho lluvia", "variable", "muy seco", con determinadas alturas de la columna de mercurio, que después de todo sólo mostraban lo experimentado en Londres y que era poco fiable en otras partes del mundo. Los marinos no confiaron en este instrumento para la predicción del tiempo.

- No fue sino hasta el siglo XIX cuando se encontró un método satisfactorio para llevar a cabo las observaciones de presión. En 1850 el almirante Robert Fitzroy, como jefe del Departamento Meteorológico del Ministerio de Comercio, autorizó la omisión de las inscripciones en los barómetros marinos. Se dio cuenta de que era más importante anotar los cambios de altura en la columna de mercurio durante un periodo de tiempo conocido que anotar únicamente la altura real.¹

2.2 ESCALA MARÍTIMA DE MAR. DOUGLAS

La Escala Douglas es una escala que clasifica los diferentes estados del mar en 10 grados tomando como referencia el tamaño de las olas. Fue creada por el vicealmirante inglés Henry Percy Douglas en 1917 cuando dirigía el Servicio Meteorológico de la Armada Británica.

La escala tiene dos códigos, uno para estimar el estado del mar y otro para describir la altura de las olas. Esta escala se adaptó internacionalmente recurriendo en la mayoría de los países a los nombres tradicionales que describían los diferentes estados del mar. Según oleaje (mar de fondo).³

Grados	Descripción
0	Sin oleaje
1	Muy bajo (olas cortas y bajas)
2	Bajo (Olas largas y bajas)
3	Ligero (Olas cortas y moderadas)
4	Moderado (Olas medias y moderadas)
5	Grueso moderado (Olas largas y moderadas)
6	Grueso (Olas cortas y altas)
7	Alto (olas medias y altas)
8	Muy alto (Olas largas y altas)
9	Confuso (Olas de longitud y altura indefinible)

Imagen de la escala marítima Douglas. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Escala_Douglas

2.3 ESCALA MARÍTIMA DE LOS VIENTOS. BEAUFORT.

La Escala Marítima de los vientos, en todo el mundo se utiliza la escala del almirante inglés Francis Beaufort publicada en 1806, más adelante en 1874 dicha escala fue adoptada por el comité meteorológico internacional. A continuación, les exponemos dicha escala actualizada. ⁴

Imagen de la escala Beaufort

Grado	Denominación	Velocidad en Nudos	Especificación
0	CALMA	<1	La mar está como un espejo, mar llana.
1	VENTOLINA	1-3	La mar comienza a rizarse.
2	FLOJITO (brisa muy débil)	4-6	Olas pequeñas que no llegan a romper.
3	FLOJO (brisa débil)	7-10	Olas cuyas crestas empiezan a romper, Borreguillos dispersos.
4	BONANCIBLE (brisa moderada)	11-16	Olas un poco largas. Numerosos borreguillos.
5	FRESQUITO (brisa fresca)	17-21	Olas moderadas y alargadas. Gran abundancia de borreguitos y eventuales rociones.
6	FRESCO (brisa fuerte)	22-27	Comienza la formación de olas grandes. Las crestas de espuma blanca se ven por todas partes. Aumentan los rociones y la navegación es peligrosa para las embarcaciones menores.
7	FRESCACHON (viento fuerte)	28-33	La espuma es arrastrada en dirección del viento. La mar es gruesa.
8	TEMPORAL (viento duro)	34-40	Olas altas con rompientes. La espuma es arrastrada en nubes blancas
9	TEMPORAL FUERTE (muy duro)	41-47	Olas muy gruesas. La espuma es arrastrada en capas espesas. La mar empieza a rugir. Los rociones dificultan la visibilidad.
10	TEMPORAL DURO (temporal)	48-55	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. La superficie del mar parece blanca. Visibilidad reducida. La mar ruge intensamente.
11	TEMPORAL MUY DURO (borrasca)	56-63	Olas excepcionalmente grandes. Los buques de mediano tonelaje se pierden de vista. La mar se ve completamente blanca. Visibilidad muy reducida. La navegación se hace imposible.
12	TEMPORAL HURACANADO (huracán)	64-71	El aire está lleno de espuma y de rociones. La visibilidad es casi nula. Se imposibilita toda navegación.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Beaufort

Imagen explicativa de los estados del mar de la escala Beaufort

Grado	Altura de las olas (m)	Descripción	Estado del mar
0	Sin olas	Mar llana o en calma	La superficie del mar está lisa como un espejo.
1	0 a 0,10	Mar rizada	El mar comienza a rizarse por partes.
2	0,10 a 0,5	Marejadilla	Se forman olas cortas pero bien marcadas; comienzan a romper las crestas formando una espuma que no es blanca sino de aspecto vidroso (ovejas).
3	0,5 a 1,25	Marejada	Se forman olas largas con crestas de espuma blanca bien caracterizadas. El mar de viento está bien definido y se distingue fácilmente del mar de fondo que pudiera existir. Al romper las olas producen un murmullo que se desvanece rápidamente.
4	1,25 a 2,5	Fuerte marejada	Se forman olas más largas, con crestas de espuma por todas partes. El mar rompe con un murmullo constante.
5	2,5 a 4	Gruesa	Comienzan a formarse olas altas; las zonas de espuma blanca cubren una gran superficie. Al romper el mar produce un ruido sordo como de arrojar cosas.
6	4 a 6	Muy gruesa	El mar se alborota. La espuma blanca que se forma al romper las crestas comienza a disponerse en bandas en la dirección del viento.
7	6 a 9	Arbolada	Aumentan notablemente la altura y la longitud de las olas y de sus crestas. La espuma se dispone en bandas estrechas en la dirección del viento.
8	9 a 14	Montañosa	Se ven olas altas con largas crestas que caen como cascadas; las grandes superficies cubiertas de espuma se disponen rápidamente en bandas blancas en la dirección del viento, el mar alrededor de ellas adquiere un aspecto blanquecino.
9	Más de 14	Enorme	Las olas se hacen tan altas que a veces los barcos desaparecen de la vista en sus senos. El mar está cubierto de espuma blanca dispuesta en bandas en la dirección del viento y el ruido que se produce es fuerte y ensordecedor. El aire está tan lleno de salpicaduras, que la visibilidad de los objetos distantes se hace imposible.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Escala_de_Beaufort

2.4 PREDECIR A BORDO

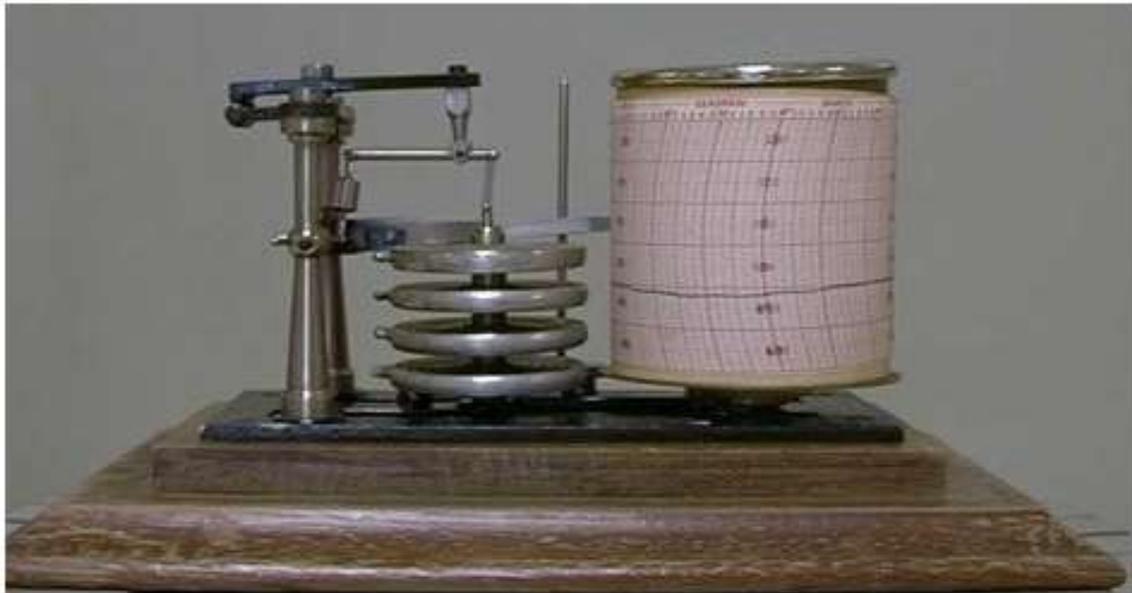
2.4.1 BARÓMETROS: es el instrumento para medir la presión atmosférica. Hay dos clases de barómetros: los de mercurio basados en el experimento de Torrecelli, no utilizados en náutica, y los basados en dilataciones y contracciones de unos tubos o capsulas vacías que se llaman barómetros aneroides. ²



Imagen de un barómetro. Fuente: Wikipedia (en general)

2.4.2 BARÓGRAFOS: barómetro que registra automáticamente las variaciones de la presión atmosférica en un cilindro giratorio.²

Imagen de un barógrafo



Fuente: <http://wiki.lamarencalma.com/index.php?title=METEOROLOG%C3%8DA>

3. BORRASCAS Y ANTICICLONES

3.1 BORRASCAS:

Es una región donde la presión atmosférica es más baja que la del aire circundante. Las borrascas se asocian normalmente con vientos fuertes y elevación atmosférica. Esta elevación suele producir cielo cubierto, debido al gradiente térmico cuando el aire se satura. Así, las borrascas suelen traer cielos nubosos o cubiertos. Los sistemas de baja presión en superficie tenderán a ser pequeños en área y tener vientos en superficie más fuertes que un sistema anticiclónico, debido a la fricción en superficie, al gradiente barométrico, fuerza centrífuga y efecto Coriolis que controlan la circulación. Se indican en la carta con la letra B. ³

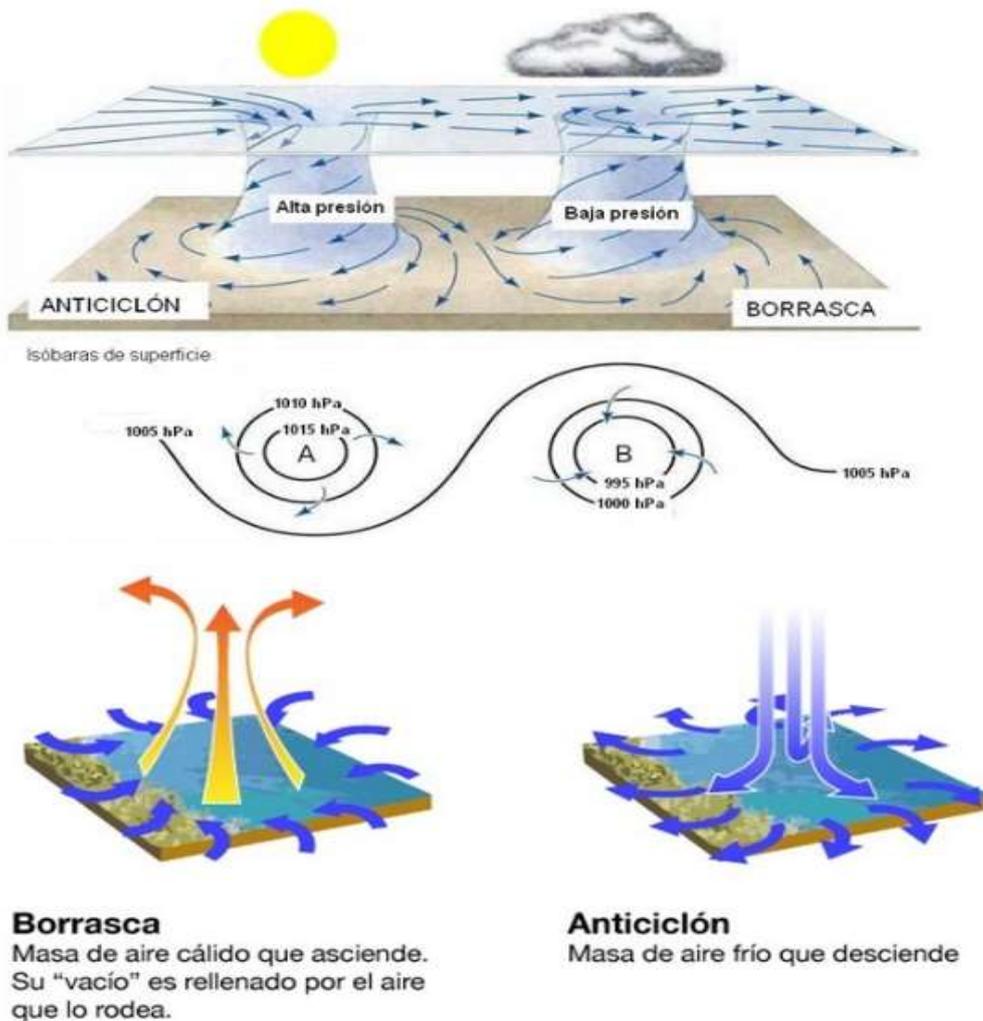
Imagen de satélite de una borrasca



Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Borrasca>

3.2 ANTICICLONES: Un anticiclón es una zona atmosférica de alta presión, en la cual la presión atmosférica (corregida al nivel del mar) es superior a la del aire circundante. El aire de un anticiclón es más estable que el aire que le circunda y desciende sobre el suelo desde las capas altas de la atmósfera, produciéndose un fenómeno denominado subsidencia. Los anticiclones, debido a lo anterior, provocan situaciones de tiempo estable y ausencia de precipitaciones, ya que la subsidencia limita la formación de nubes. Los anticiclones van en sentido contrario de las borrascas. Se indican con la letra A en la carta.³

Imagen gráfica de la anatomía de un anticiclón



Fuente: <http://aulanautica.org/unidad/9-meteorologia/>

4 CICLONES TROPICALES

Ciclón tropical es un término meteorológico usado para referirse a un sistema tormentoso caracterizado por una circulación cerrada alrededor de un centro de baja presión y que produce fuertes vientos y abundante lluvia. Los ciclones tropicales extraen su energía de la condensación de aire húmedo, produciendo fuertes vientos. Se distinguen de otras tormentas ciclónicas, como las bajas polares, por el mecanismo de calor que las alimenta, que las convierte en sistemas tormentosos de "núcleo cálido". Dependiendo de su fuerza un ciclón tropical puede llamarse depresión tropical, tormenta tropical, huracán y de su localización se pueden llamar tifón (especialmente en las Islas Filipinas y China) o simplemente ciclón.

El término "tropical" se refiere tanto al origen geográfico de estos sistemas, que se forman casi exclusivamente en las regiones intertropicales del planeta, como a su formación en masas de aire tropical de origen marino. El término "ciclón" se refiere a la naturaleza ciclónica de las tormentas, con una rotación en el sentido contrario al de las agujas del reloj en el hemisferio norte y en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio sur.³

Los ciclones se desarrollan sobre extensas superficies de agua cálida y cuando las condiciones atmosféricas alrededor de una débil perturbación en la atmósfera son favorables. A veces se forman cuando otros tipos de ciclones adquieren características tropicales.

Los sistemas tropicales son conducidos por vientos direccionales hacia la troposfera; si las condiciones continúan siendo favorables, la perturbación tropical se intensifica y puede llegar a desarrollarse un ojo, y pierden su fuerza cuando penetran en tierra o si las condiciones alrededor del sistema se deterioran este se disipa.³

4.1 ESTRUCTURA FÍSICA

Imagen de la anatomía de un huracán



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Cicl%C3%B3n_tropical

Los ciclones tropicales son áreas de baja presión atmosférica cerca de la superficie de la Tierra. Las presiones registradas en el centro de los ciclones tropicales están entre las más bajas registradas en la superficie terrestre al nivel del mar. Los ciclones tropicales se caracterizan y funcionan como núcleo cálido, que consiste en la expulsión de grandes cantidades de calor latente de vaporización que se eleva, lo que provoca la condensación del vapor de agua. Este calor se distribuye verticalmente alrededor del centro de la tormenta. Por ello, a cualquier altitud (excepto cerca de la superficie, donde la temperatura del agua determina la temperatura del aire) el centro del ciclón siempre es más cálido que su alrededor. Las principales partes de un ciclón son el ojo, la pared del ojo y las bandas lluviosas. ³

4.2 REGIONES PRINCIPALES

Imagen de las zonas que principalmente recorren los huracanes y TT



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Cicl%C3%B3n_tropical

4.3 FORMACIÓN

La formación de ciclones tropicales es el tema de muchas investigaciones y todavía no se entiende perfectamente. Seis factores generales son necesarios para hacer posible la formación de ciclones tropicales, aunque ocasionalmente pueden desafiar a estos requisitos:

1. Temperatura del agua de al menos 26,5 °C hasta una profundidad de al menos 50 m. Las aguas a esta temperatura provocan que la atmósfera sea lo suficientemente inestable como para sostener convección y tormentas eléctricas.
2. Enfriamiento rápido con la altura. Esto permite la expulsión de calor latente, que es la fuente de energía en un ciclón tropical.
3. Alta humedad, especialmente en las alturas baja a media de la troposfera. Cuando hay mucha humedad en la atmósfera, las condiciones son más favorables para que se desarrollen perturbaciones.

4. Baja cizalladura vertical. Cuando la cizalladura vertical es alta, la convección del ciclón o perturbación se rompe, deshaciendo el sistema.
5. La distancia al ecuador terrestre. Permite que la fuerza de Coriolis desvíe los vientos hacia el centro de bajas presiones, causando una circulación. La distancia *aproximada* es 500 km o 10 grados. Un sistema de perturbación atmosférica preexistente. El sistema debe tener algún tipo de circulación como centro de bajas presiones.³

4.4 ÉPOCA DE FORMACIÓN

A nivel mundial, los picos de actividad ciclónica tienen lugar hacia finales de verano, cuando la temperatura del agua es mayor. Sin embargo, cada región particular tiene su propio patrón de temporada. En una escala mundial, mayo es el mes menos activo, mientras que el más activo es septiembre.

En el Atlántico Norte, la temporada es diferente, teniendo lugar desde el 1 de junio al 30 de noviembre, alcanzando su mayor intensidad a finales de agosto y en septiembre. Estadísticamente, el pico de actividad de la temporada de huracanes en el Atlántico es el 10 de septiembre. El nordeste del océano Pacífico tiene un período de actividad más amplio, pero en un margen de tiempo similar al del Atlántico. El noroeste del Pacífico tiene ciclones tropicales durante todo el año, con un mínimo en febrero y marzo y un máximo de actividad a principios de septiembre. En la región del norte del Índico, las tormentas son más comunes desde abril a diciembre, con picos de intensidad en mayo y noviembre.

En el hemisferio sur, la actividad de ciclones tropicales comienza a finales de octubre y termina en mayo. El pico de actividad se registra desde mediados de febrero a principios de marzo.³

4.5. ESCALA DE CICLONES DE SAFFIR-SIMPSON

La escala de huracanes de Saffir-Simpson es una escala que clasifica los ciclones tropicales según la intensidad del viento, desarrollada en 1969 por el ingeniero civil Herbert Saffir y el director del Centro Nacional de Huracanes (NHC) de Estados Unidos, Robert Simpson.

La escala original fue desarrollada por Saffir mientras pertenecía a una comisión de las Naciones Unidas dedicada al estudio de las construcciones de bajo coste en áreas propensas a sufrir huracanes. En el desarrollo de su estudio, Saffir se percató de que no había una escala apropiada para describir los efectos de los huracanes. Apreciando la utilidad de la escala sismológica de Richter para describir terremotos, inventó una escala de cinco niveles, basada en la velocidad del viento, que describía los posibles daños en edificios. Saffir cedió la escala al Centro Nacional de Huracanes de Estados Unidos; posteriormente Simpson añadiría a la escala los efectos del oleaje e inundaciones. No son tenidas en cuenta ni la cantidad de precipitación ni la situación, lo que significa que un huracán de categoría 3 que afecte a una gran ciudad puede causar muchos más daños que uno de categoría 5, pero que afecte a una zona despoblada.

Además, a medida que un ciclón tropical se organiza, pasa por dos categorías iniciales. Estas no están contenidas dentro de la Escala de Huracanes de Saffir-Simpson, pero clasifican a un ciclón tropical en formación y se utilizan como categorías adicionales a la misma. Son la depresión tropical (un sistema organizado de nubes y tormenta eléctrica con una circulación cerrada y definida) y la tormenta tropical (un sistema organizado de fuertes tormentas eléctricas con una circulación bien definida que muestra la distintiva forma ciclónica).³

Imagen de la escala de ciclones de Saffir-Simpson

INTENSIDAD	VELOCIDAD DEL VIENTO	PRESIÓN CENTRAL	MAREA
 Categoría 1	119-153 km/h	980-994 mbar	1,2-1,5 m
	74-95 mph		
	33-42 m/s		
	Vientos muy peligrosos que producirán algunos daños		
 Categoría 2	154-177 km/h	965-979 mbar	1,8-2,4 m
	96-110 mph		
	43-49 m/s		
	Vientos extremadamente peligrosos que causarán daños extensos		
 Categoría 3	178-209 km/h	945-964 mbar	2,7-3,7 m
	111-130 mph		
	50-58 m/s		
	Vientos con daños devastadores Afectaciones estructurales en edificios pequeños		
 Categoría 4	210-249 km/h	920-944 mbar	4,0-5,5 m
	131-155 mph		
	59-69 m/s		
	Vientos con daños catastróficos Afectaciones generalizadas en estructuras protectoras		
 Categoría 5	≥ 250 km/h	< 920 mbar	≥ 5,5 m
	≥ 156 mph		
	≥ 70 m/s		
	Vientos con daños catastróficos Destrucción de altos porcentajes de viviendas		

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Cicl%C3%B3n_tropical

5. TIPOS Y CLASIFICACIONES DE LAS NUBES

Se clasifican en base a su forma, altura de su base y su proceso de formación. Tendremos nubes en forma de montones (cúmulos), en capas (estratos) y una mezcla, es decir, capas de montones (estratocúmulos).

SEGÚN EL PROCESO DE FORMACIÓN tendremos tres tipos de nubes:

5.1 NUBES CONVECTIVAS O DE CONVECCIÓN: La inestabilidad atmosférica da lugar a un gran número de corrientes de aire ascendentes o descendentes. Cuando una corriente ascendente alcanza el nivel de condensación forma una nube. Si asciende mucho por encima del nivel de condensación, dará lugar a nubes tipo cúmulos, que son nubes muy espesas y con forma algodonosa. Si continúan el ascenso más todavía, continuarán aumentando en tamaño y desarrollo vertical apareciendo las nubes tipo cumulo nimbos que se caracteriza porque además es una nube de tormenta ya que acumula mucha agua en su ascenso vertical hasta que no puede contenerla y se produce la precipitación.

5.2 NUBES OROGRÁFICAS: Se forman cuando el aire se ve forzado a subir por la ladera de una montaña. Si el aire contiene la suficiente humedad como para que al llegar a la altura de la cumbre alcance la temperatura de rocío, habrá formación de nubes.

5.3 NUBES FRONTALES: Se producen en el encuentro de dos masas de aire una más fría que la otra. El aire cálido ascenderá sobre el aire frío enfriándose y al llegar a la temperatura de rocío, empezarán a formarse nubes. El proceso continúa mientras el aire siga ascendiendo. Las nubes así generadas tienen forma estratiforme, es decir, una especie de manto que variará en su forma y espesor dependiendo de la altura.⁵

SEGÚN LA ALTURA se clasifican en:

5.4 NUBES ALTAS: Tienen su base a una altura superior a los 6000 metros.

Se conocen con el nombre de Cirros (Ci). Son nubes aisladas de aspecto fibroso o con aspecto de pluma que destacan sobre un cielo azul con su color blanco. Dentro de los Cirros nos podemos encontrar los Cirrocúmulos (Cc) y los Cirroestratos (Cs). Cuando invaden el cielo, generalmente en 24 horas hay un cambio del tiempo, con bajada de la temperatura.⁵

Imagen de un atardecer con nubes de tipo Ci



Fuente: propia del autor del trabajo

5.5 NUBES MEDIAS: Se encuentran entre los 2000 y los 6000 metros de altura. Nos encontraremos con los Altocúmulos (Ac) y los Altoestratos (As).

Imagen de nubes Ac en alta mar



Fuente: propia del autor del trabajo

5.6 NUBES BAJAS: Su base está en alturas inferiores a los 2000 metros. Tendremos los Estratos (St), Estratocúmulos (Sc) y los Nimboestratos (Ns). Los Estratos son las nubes parecidas a la niebla. Los Estratocúmulos están constituidos por una capa gris y sombría con algún intervalo de claros. Los Nimboestratos están formados por una capa de nubes bajas, sin forma y densas que se acompañan de precipitaciones. Cubren todo el cielo. Se diferencian de los Estratos en su color más oscuro y por las precipitaciones.⁵

Imagen de nubes Ns en alta mar



Fuente: propia del autor del trabajo

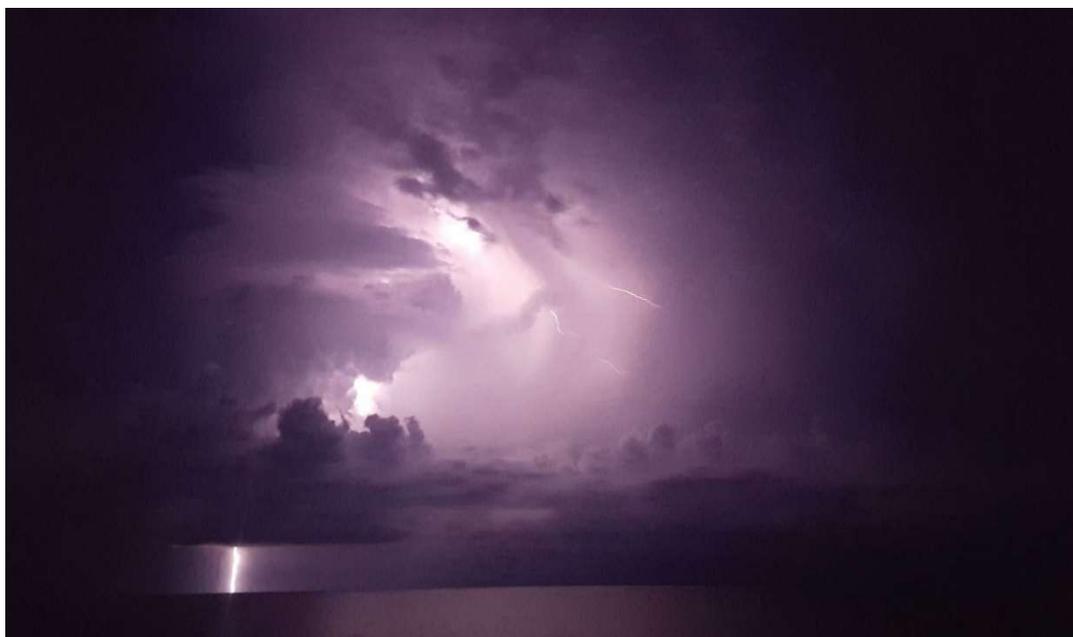
5.7 NUBES DE DESARROLLO VERTICAL: Destacan por su gran altura vertical, desde los 600 hasta los 13000 metros. Pueden tener su base muy baja. Tenemos los Cúmulos (Cu) y los Cumulonimbos (Cb) que presentan mayor desarrollo vertical y aspecto mucho más amenazador.⁵

Imagen de Cb con una cortina de lluvia en él



Fuente: propia del autor del trabajo

Imagen de una descarga de un Cb



Fuente: propia del autor del trabajo

6. MODELOS METEOROLÓGICOS

- **PREDICCIONES A CORTO Y MEDIO PLAZO:**

6.1 GFS (Global Forecast System)

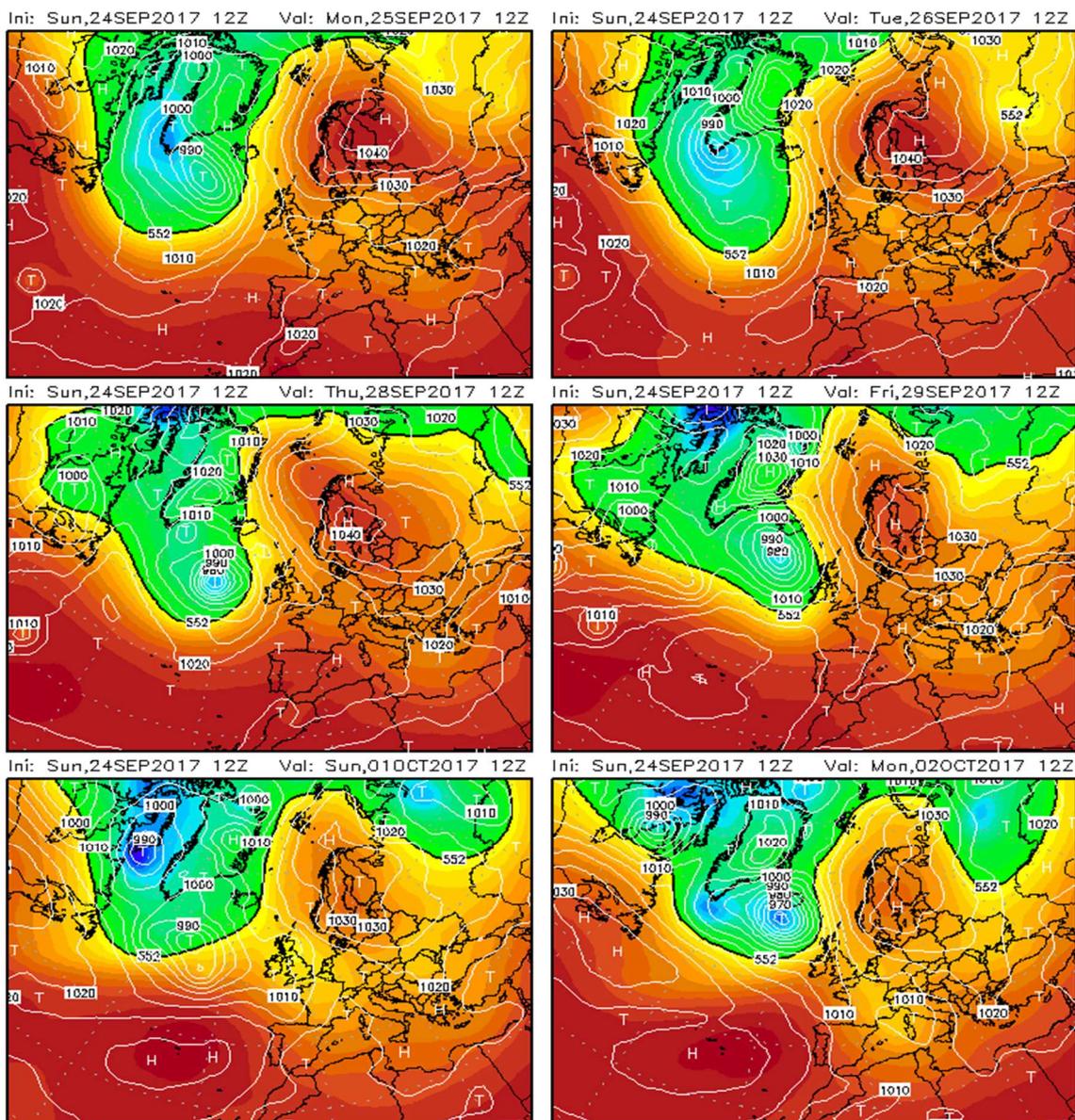
El modelo americano GFS fue creado por la **NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)**. Es el único de los modelos con cobertura global cuya producción de salidas de predicción están disponible gratuitamente y bajo dominio público a través de Internet. Tiene cuatro salidas o actualizaciones al día (00h/06h/12h/18h UTC), con predicciones que alcanzan los 16 días (384 horas). Las salidas más fiables son la de las 00h y 12h, ya que se realizan con radiosondeos.⁷

6.1.1 PANEL DE ALTURA GEOPOTENCIAL A 500 hPa (5.500 m + Isobaras)

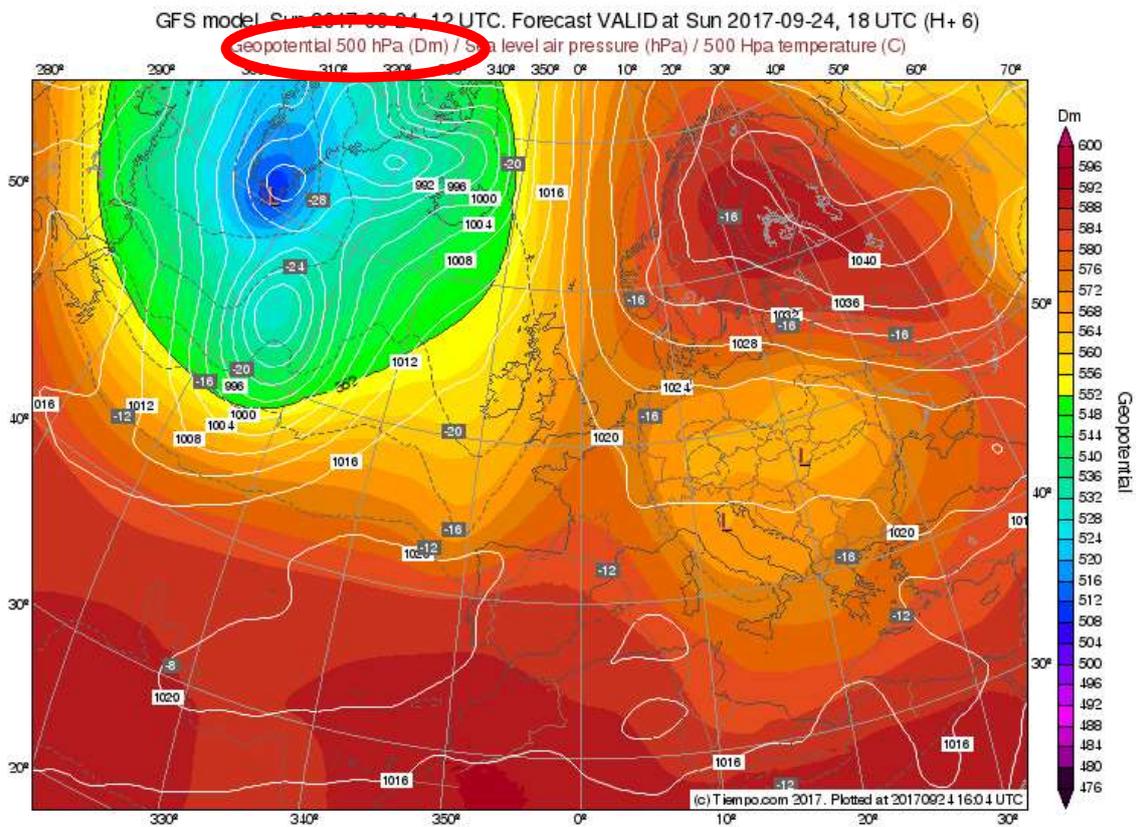
Los mapas de isobaras y altura geopotencial nos ayudan a tener una idea general de la situación meteorológica actual, y la prevista para los próximos días. En el siguiente panel se toma como punto de partida una salida cualquiera del modelo GFS, y se presentan los mapas previstos para los próximos 9 días a la misma hora de dicha salida o actualización del modelo. Las líneas de color blanco representan las isobaras (líneas que unen puntos de la misma presión) a nivel de superficie, mostrando la distribución de los centros de alta/baja presión (anticiclones/borrascas).

También se muestra en colores la altura geopotencial del nivel de 500 hPa - hectopascales- (a unos 5.500 metros de altitud en la Troposfera). En aquellas zonas donde los colores son verdosos/azules/morados corresponden a hundimientos del nivel de 500 hPa (por debajo de su nivel medio de 5.500 metros) y, por tanto, allí donde dominan las bajas presiones. Todo lo contrario, para los colores cálidos:

Imagen del modelo GFS de temperaturas



Fuente: <http://blogs.hoy.es/meteobadajoz/modelos/#.WcPaZMjyIV>



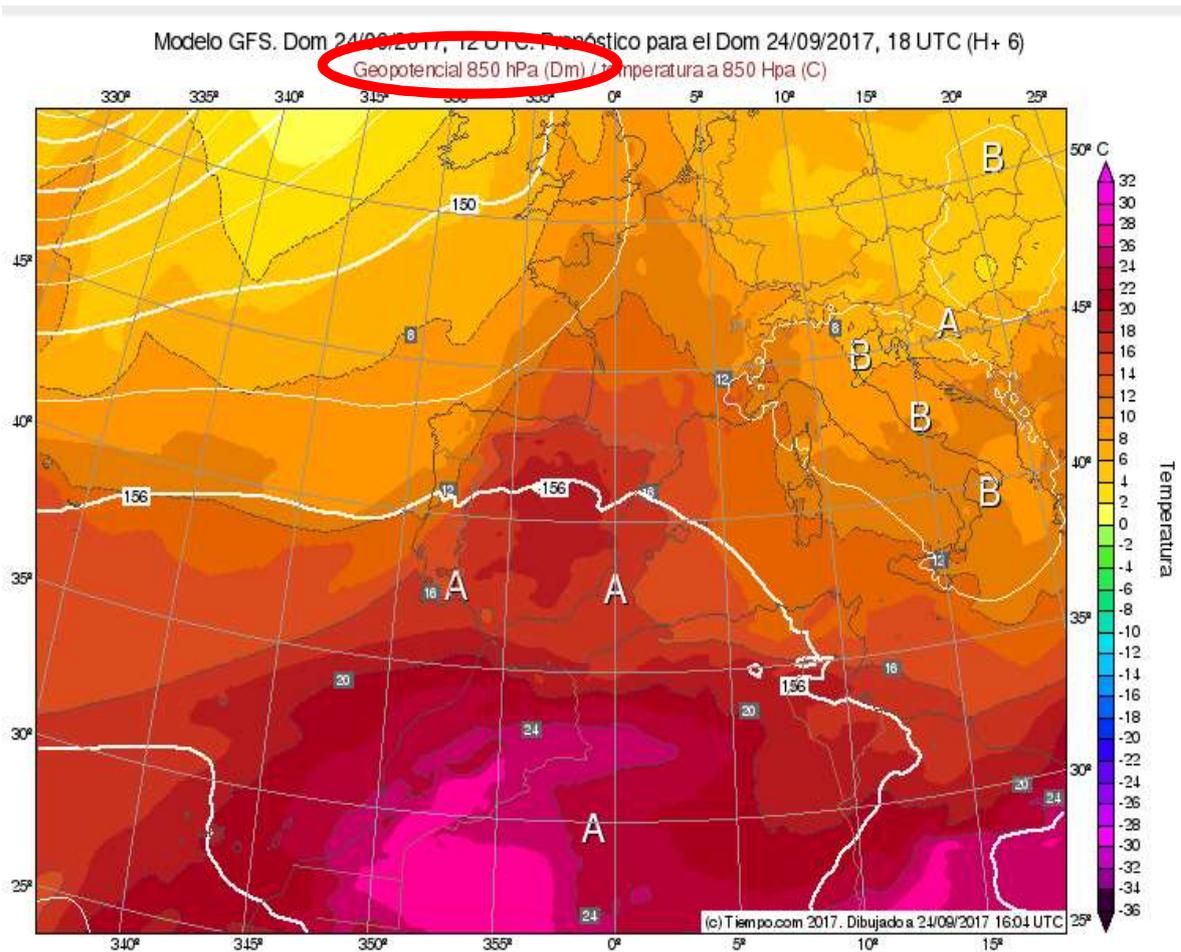
Fuente: <https://www.tiempo.com/modelos/es-espana>

6.1.2 PANEL DE TEMPERATURAS A 850 hPa(1500m aprox.)

El mapa de temperaturas 850 hPa -hectopascales- (a unos 1.500 metros de altitud), es perfecto para observar la evolución de las temperaturas a lo largo de los días, ya que no son las temperaturas que se registran en superficie y, por tanto, no se ven tan influenciadas por las diferencias térmicas del día y la noche. Viendo las temperaturas a esta altura, a 1.500 metros, podemos “adivinar” las temperaturas que más o menos se pueden dar en superficie, así como observar la evolución y dimensiones de las irrupciones de aire frío o cálido, normalmente dispuestas en los mapas en forma de “lenguas” (dorsales/vaguadas).

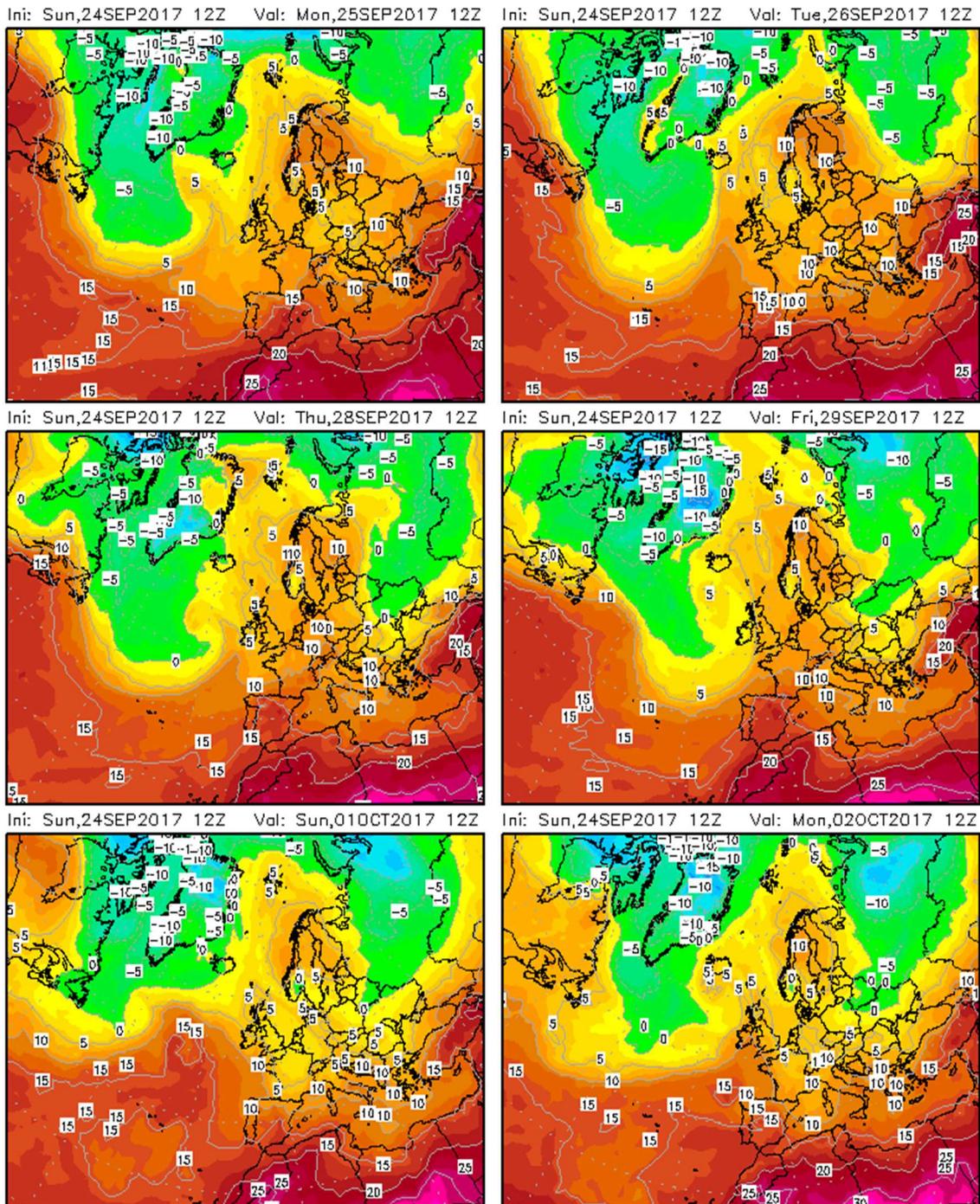
En el siguiente mapa, se muestra una predicción de temperaturas a 850 hPa para los próximos 9 días, que corresponden a una salida concreta del modelo (00h/06h/12h/18h UTC). Las isothermas (líneas que unen puntos con la misma temperatura) están etiquetadas con el valor de temperaturas cada 5°C: ⁷

Imagen del modelo GFS de temperaturas



Fuente: <https://www.tiempo.com/modelos/es-espana>

Imagen del modelo GFS de temperaturas



Fuente: <http://blogs.hoy.es/meteobadajoz/modelos/#.WcPaZMjyIV>

6.2 IFS (Integrated Forecast System)- ECMWF

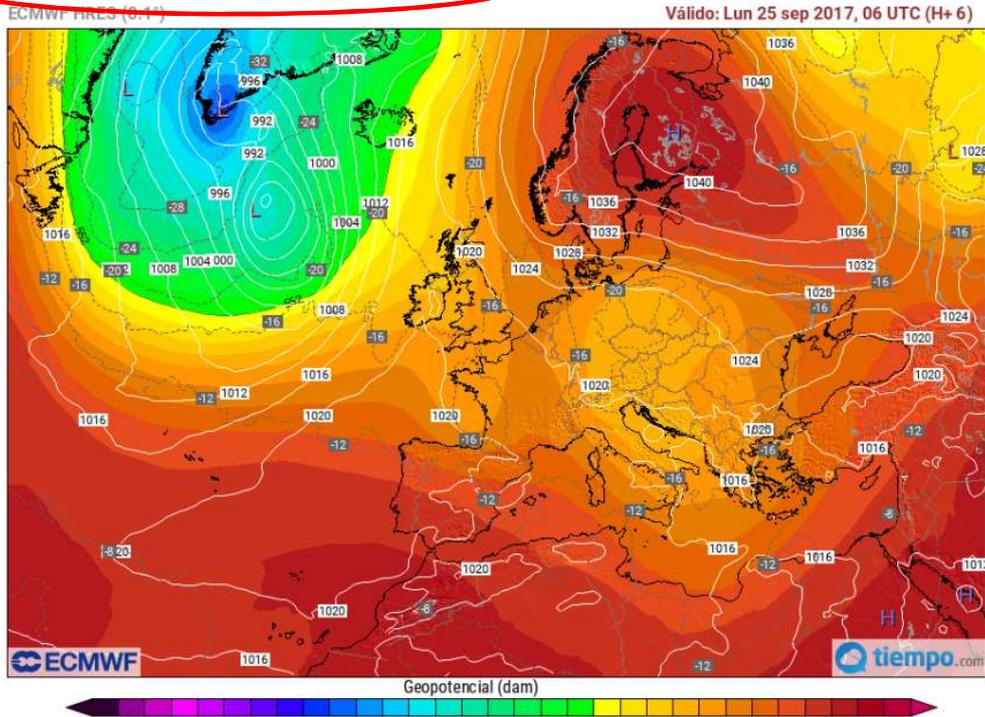
El modelo IFS (popularmente conocido como “*modelo europeo*”) fue creado, desarrollado y actualmente mantenido por el Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Medio Plazo (CEPMMT o ECMWF – European Centre for Medium-range Weather Forecasts-). El IFS está considerado como el mejor modelo global de predicción meteorológica entre los cuatro grandes modelos globales más usados por las agencias meteorológicas del mundo.

Personalmente, teniendo en cuenta la experiencia con los principales modelos, el “*modelo europeo*” es uno de los más estables en comparación, por ejemplo, con el modelo americano GFS, siendo este más dinámico y variable de una salida a otra. En cambio, el IFS es menos cambiante, y algo más fiable a medio plazo que otros modelos, quizás por el hecho de que no es un modelo al alcance de todos, como sí lo es GFS.

El IFS se actualiza cada 12 horas, con dos salidas diarias; la de las 00h y 12h UTC. Son varios los productos liberados por el ECMWF, aunque ni mucho menos son tan numerosos como los de GFS. A continuación, los paneles de altura geopotencial a 500 hPa + isobaras, y el panel de temperaturas a 850 hPa. Para este modelo es válida la descripción de los parámetros expuesta con el modelo anterior: ⁷

6.2.1 GEOPOTENCIAL A 500 hPa (5.500 m + Isobaras)

500 hPa: geopotencial y temperatura. Superficie: presión.

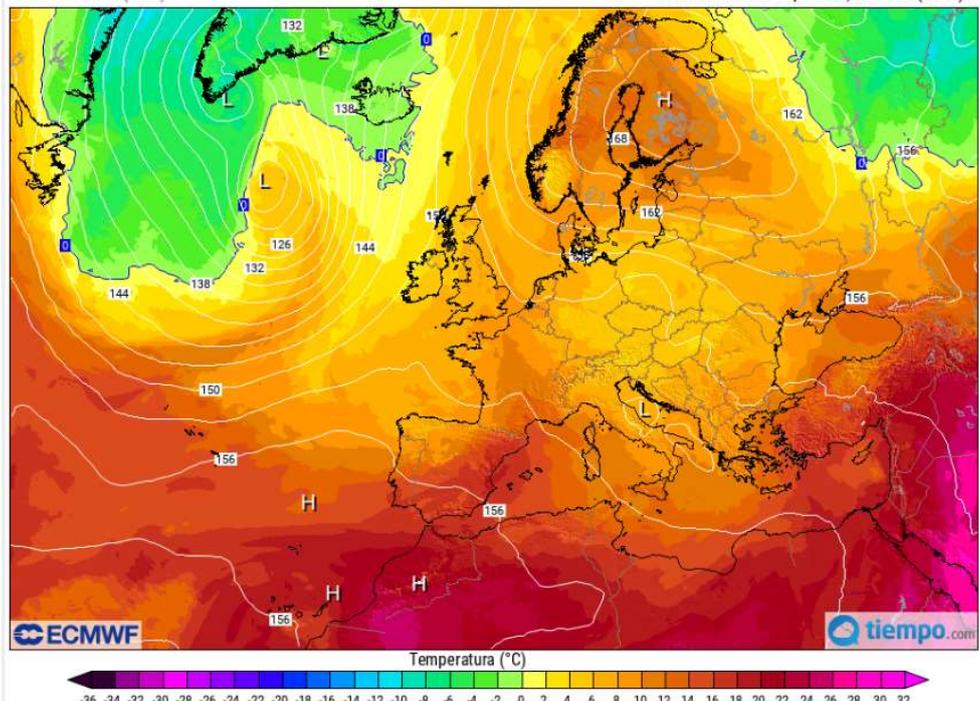


Fuente: <https://www.tiempo.com/modelos/es-espana>

6.2.2 GEOPOTENCIAL A 850 hPa + ISOBARAS

850 hPa: geopotencial y temperatura.
ECMWF HRES (0.1°)

Inicio: Lun 25 sep 2017, 00 UTC
Válido: Lun 25 sep 2017, 06 UTC (H+ 6)



6.3 NCEP- EUROPA.

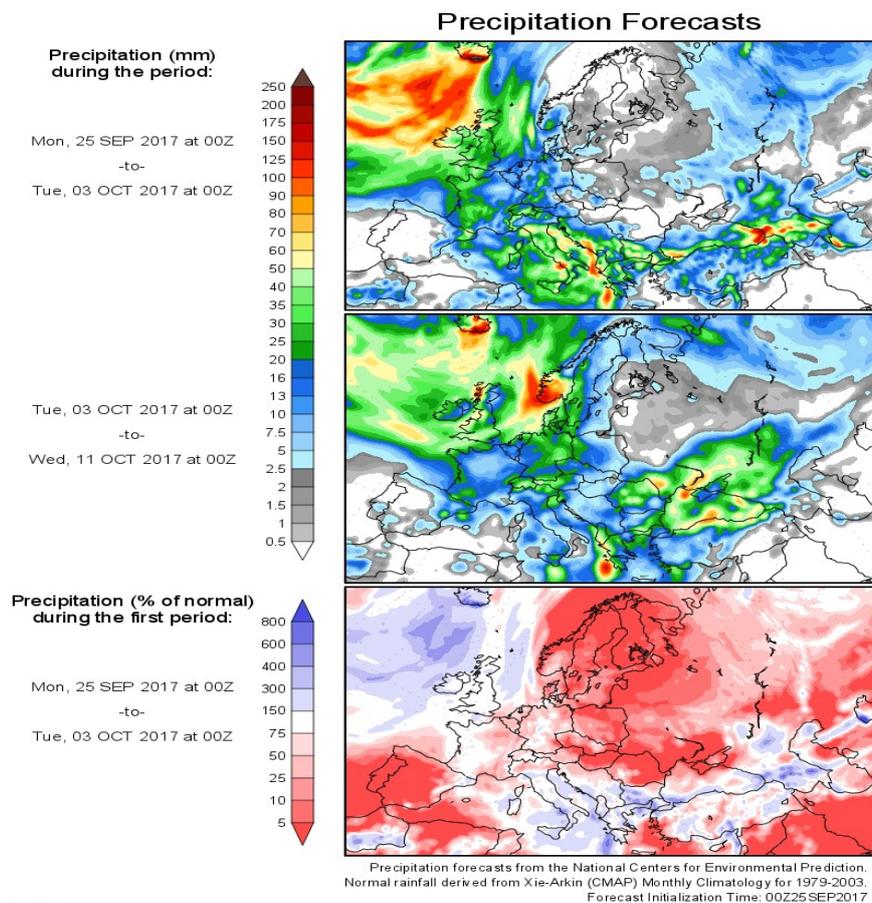
6.3.1 PRECIPITACIÓN

1º mapa: acumulación total de lluvia prevista para el periodo de referencia que aparece en la parte superior del mapa.

2º mapa: Precipitaciones medias para el periodo de referencia que se muestra en la parte media del mapa.

3º mapa: anomalía de precipitación para el periodo de referencia que se muestra en la parte inferior del mapa.⁷

Imagen de la variación de precipitación en Europa



GIADS/COLA

(7)

Fuente: <http://blogs.hoy.es/meteobadajoz/modelos/#.WcPaZMjyIIV>

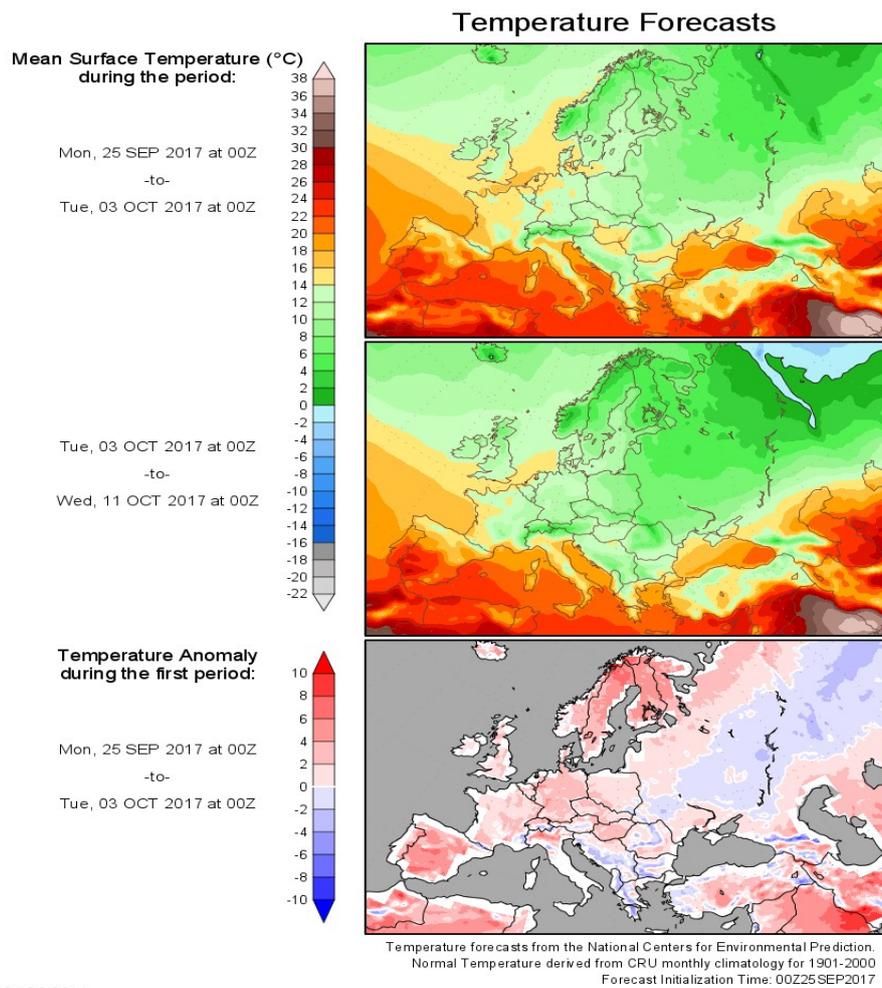
6.3.2 TEMPERATURAS

1º mapa: temperatura media para el periodo de referencia que aparece a la superior del mapa.

2º mapa: temperatura media para el periodo de referencia que se muestra en la parte media del mapa.

3º mapa: anomalía de temperatura superficial para el periodo de referencia que se muestra en la parte inferior del mapa.⁷

Imagen de la variación de temperatura en Europa



GIAD S/COLA

Fuente: <http://blogs.hoy.es/meteobadajoz/modelos/#.WcPaZMjyIV>

- **PREDICCIONES ESTACIONALES (MUY LARGO PLAZO)**

6.4 CFS (Climate Forecast System)- NOAA

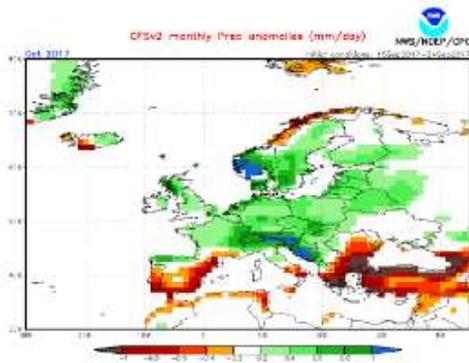
Cabe mencionar que los modelos utilizados para predicciones a tan largo plazo no tienen nada que ver con los modelos meteorológicos usados para elaborar la predicción diaria, ya que los modelos estacionales, además de tener en cuenta todos los datos de la interacción océano-atmósfera-Tierra, usan datos probabilísticos que determinan la tendencia general de la estación del año correspondiente.

Es decir, estos modelos tienen en cuenta situaciones anteriores, ya vividas años atrás, estableciendo así una tendencia más probable, en función de los patrones atmosféricos que hayan marcado las semanas previas al mes y/o meses de predicción. Además, estos modelos se encuentran actualmente en pleno desarrollo, en fase de experimentación, por lo que su fiabilidad suele ser bastante baja, aunque sí es cierto que en numerosas ocasiones han acertado en sus pronósticos. A pesar de todo, los modelos estacionales sí pueden ayudarnos a marcar tendencias para un mes vista. ⁷

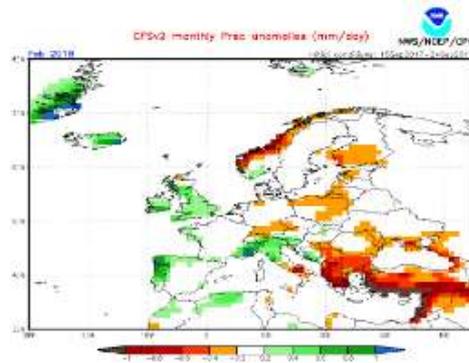
6.4.1 INTERPRETACIÓN DEL MAPA DE PRECIPITACIONES

En colores cálidos aparecen representadas las anomalías negativas (precipitaciones por debajo de lo normal; carácter seco). Mientras que mediante los colores fríos se representan las anomalías positivas de precipitación (lluvias por encima de lo normal; carácter húmedo). Para ello, en la parte inferior del mapa se muestra una escala de colores, cuya leyenda es la siguiente:

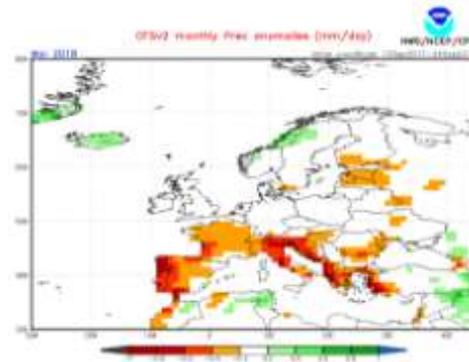
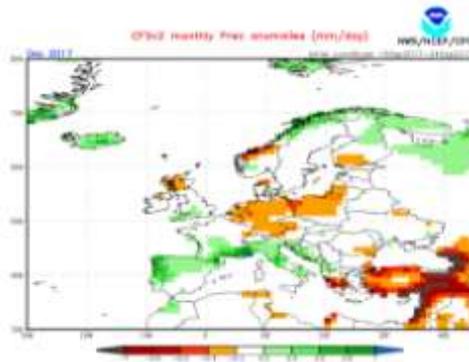
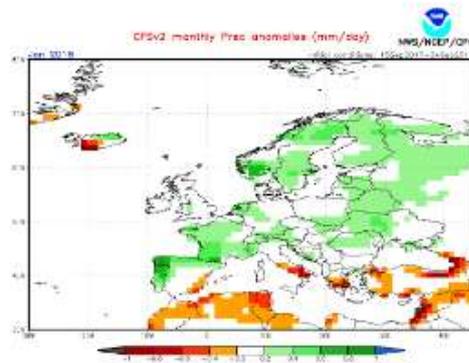
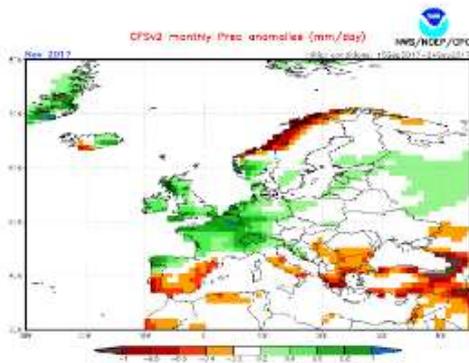
Imagen de la variación de precipitación en Europa



Ampliar mapa



Ampliar mapa



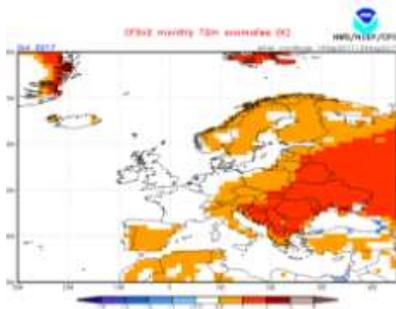
Fuente: <http://blogs.hoy.es/meteobadajoz/modelos/#.WcPaZMjvjlV>

6.4.2 INTERPRETACIÓN DEL MAPA DE TEMPERATURAS

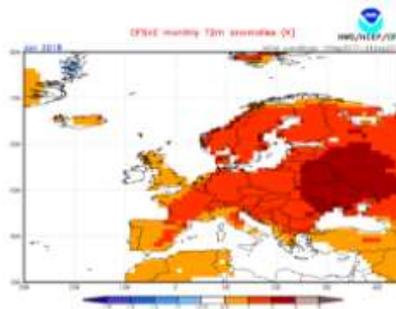
En colores cálidos se representan las anomalías positivas de temperatura superficial (valores por encima de la media del mes correspondiente), mientras que los colores fríos hacen referencia a las anomalías negativas de temperatura (valores por debajo de la media para el mes correspondiente). La leyenda de su escala es:

A continuación, se muestra una serie de mapas asociados al modelo CFS, comenzando por los mapas de anomalía de precipitación y, seguidamente, los mapas de anomalía de temperatura superficial para el continente Europeo:

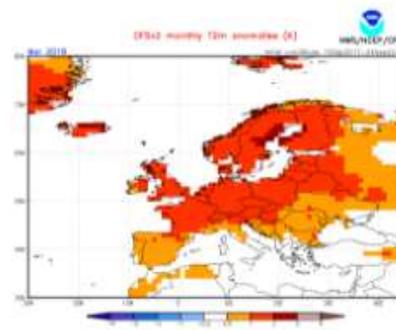
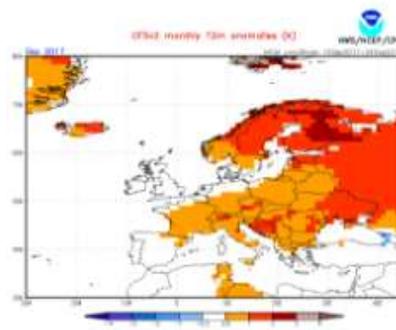
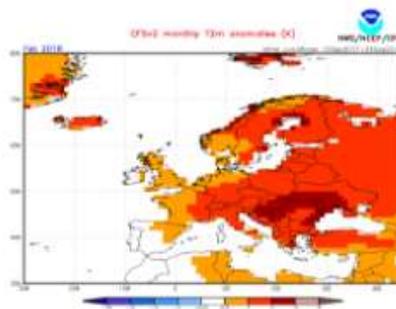
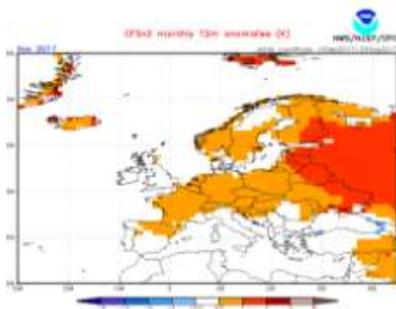
Imagen de la variación de temperatura en Europa



Ampliar mapa



Ampliar mapa



Fuente: <http://blogs.hoy.es/meteobadajoz/modelos/#.WcPaZMjyjiV>

7. CONVECTIVE AVAILABLE POTENTIAL ENERGY

Convective Available Potential Energy (CAPE), definido como energía potencial convectiva disponible, es un factor que determina la “Energía potencial que una parcela de aire tiene cuando alcanza el nivel de convección libre y se vuelve más cálida que el aire a su alrededor experimentando empuje ascensional hacia arriba”. Dicha energía, paulatinamente sufre una transformación a energía cinética del movimiento ascendente de la masa de aire que se analiza, en la cual se pueden obtener datos sobre velocidades de ascensos a partir de esta información.

Para calcular dicha energía, utilizamos el diagrama oblicuo correspondiente, el cual calcula el área encerrada entre las líneas del perfil de temperatura ambiente, y la adiabática húmeda desde el nivel de convección libre (NCL) hasta el nivel de equilibrio (NE).

Hay que tener siempre en cuenta que el cálculo del CAPE va a depender del cálculo previo de estos dos parámetros (en el que puede aumentar el riesgo de error a la hora de calcularlo manualmente). Si acudimos a un diagrama modelo, el resultado visual que tendríamos sería el que vemos en la imagen de a continuación. ^{9/10}

Tras haber calculado los parámetros anteriores, existen una serie de valores ya tabulados que nos proporcionan información de valor sobre la estabilidad de la capa que estemos analizando en la atmósfera. Esta tabla es aproximativa, y su análisis tiene que realizarse juntamente con el resto de parámetros. Seguidamente, expondremos la tabla de dichos valores.

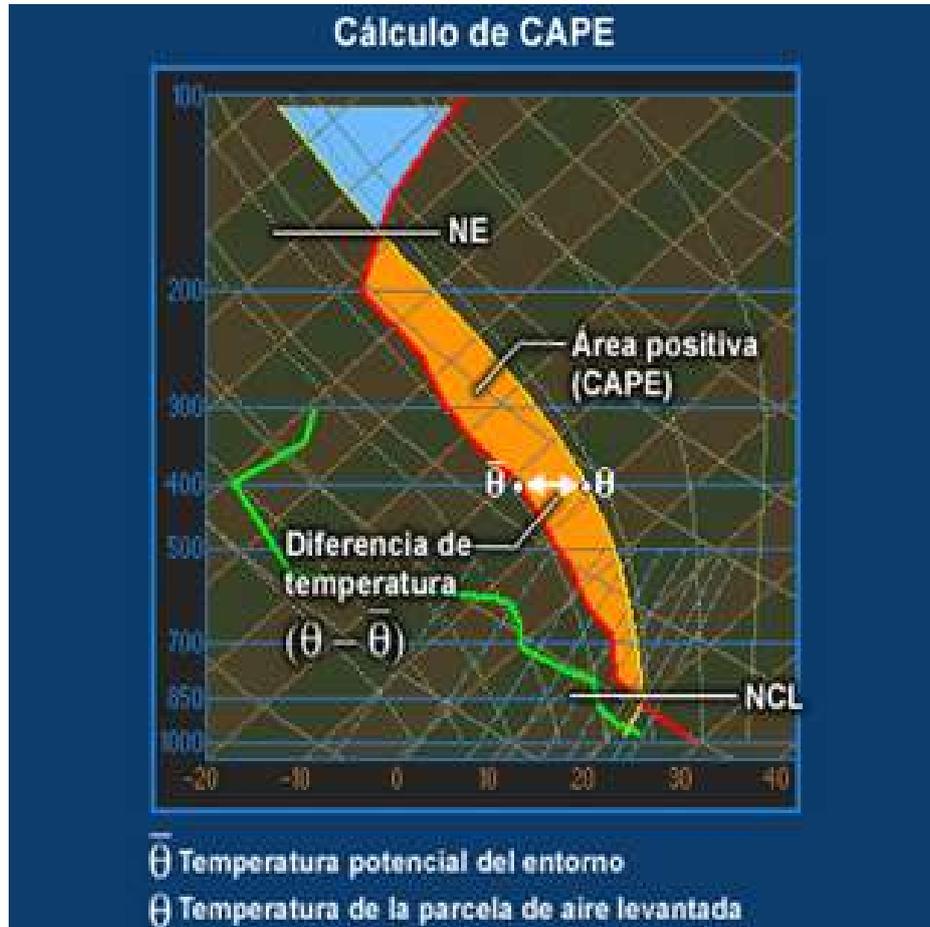


Imagen de tabla del valor y potencial convectivo del CAPE

Valor de CAPE	Potencial convectivo
0	Estable
0-1000	Marginalmente inestable
1000-2500	Moderadamente inestable
2500-3500	Muy inestable
3500 o más	Extremadamente inestable

Fuente: <http://elmeteorus.blogspot.com.es/> Ambas imágenes

El CAPE se expresa en julios por kilogramo (J/kg). Si queremos obtener el valor de la velocidad de las corrientes ascendentes de aire que se forman con la aparición de este factor en la atmósfera, debemos de aplicar una fórmula muy simple que expondré a continuación: ^{9/10}

$$V_{max} = \sqrt{2 \cdot CAPE}$$

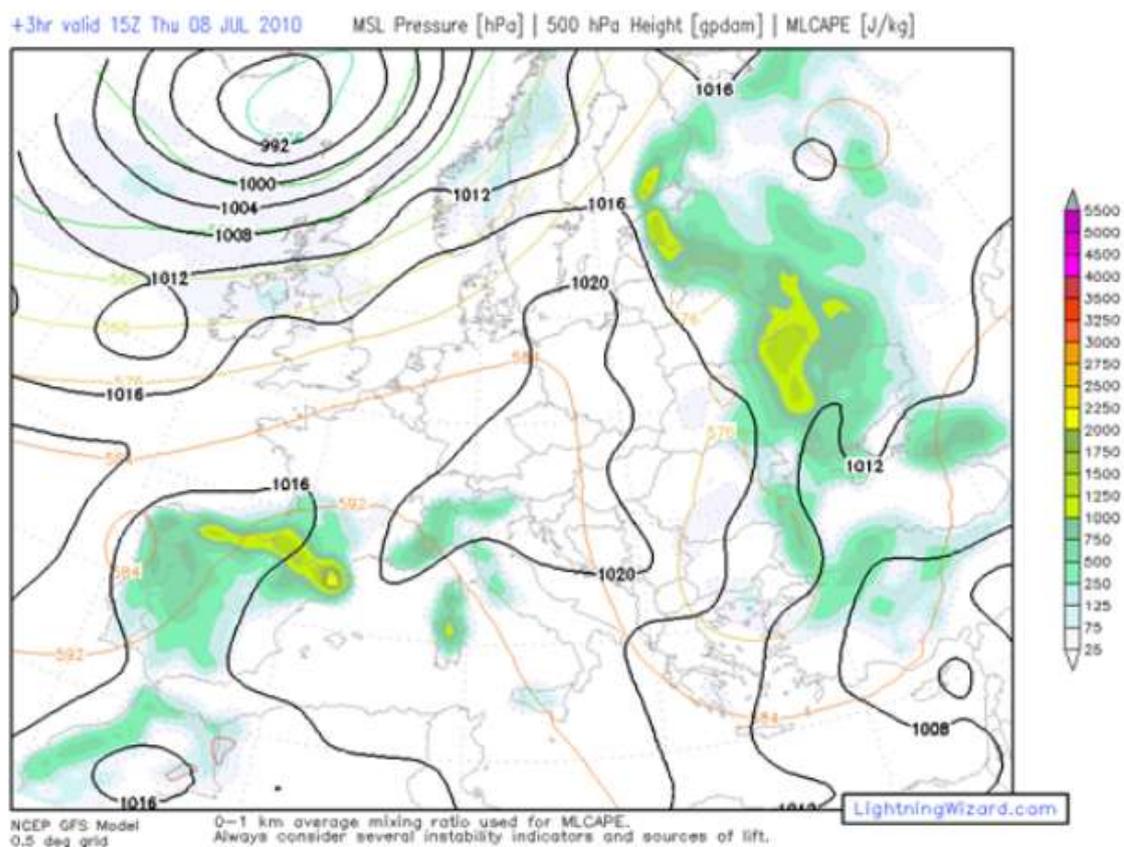
A continuación, vamos a realizar un ejemplo práctico; si tenemos un CAPE en una determinada capa de 1100 J/Kg, las corrientes ascendentes tendrían una velocidad máxima de 46,90 m/s o lo que es lo mismo, 168km/h. La velocidad, aunque parezca bastante elevada, no lo es tanto, debido a que este resultado nos indica un valor máximo en las cuales intervienen otros parámetros como, por ejemplo: peso del agua condensada, coeficiente de arrastre etc.

Un aspecto importante a tener en cuenta es que, cuando se habla del cálculo del CAPE, siempre se tiene que incluir la palabra capa o estrato atmosférico, ya que existen varios tipos de CAPEs dependiendo de lo dicho anteriormente. No todos los CAPEs tienen una gran importancia a la hora de realizar una predicción de la posibilidad de desarrollo de tormentas. ^{9/10}

7.1 MIXED LAYER CONVECTIVE AVAILABLE POTENTIAL ENERGY (MLCAPE)

Es la energía potencial de convección disponible en la capa de mezcla de la atmósfera. Este el más utilizado por los meteorólogos, y para calcularlo se toma la media de la proporción de mezcla junto con la temperatura potencial correspondiente al estrato atmosférico que estemos analizando. Dependiendo de cuál sea, tendremos el MLCAPE1km, correspondiente al primer km de la troposfera; MLCAPE100, de los 100hpa inferiores etc. Normalmente este tipo de parámetros no se suelen calcular a mano con los diagramas termodinámicos, sino que por implementación de distintos modelos numéricos meteorológicos tales como por ejemplo el GFS, junto con los datos de los distintos sondeos elaborados. ^{9/10}

Imagen de un modelo meteorológico del MLCAPE



Fuente: <https://www.tiempo.com/modelos>

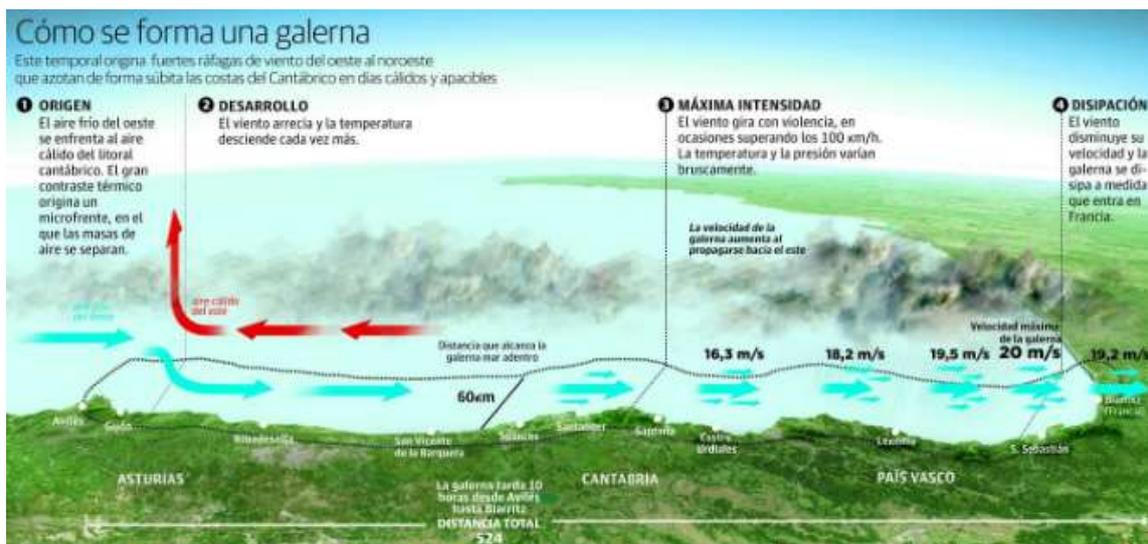
8.FENÓMENOS METEOROLÓGICOS

8.1.LAS GALERNAS

La galerna es un fenómeno típico de las costas septentrionales españolas, consiste en un viento súbito muy fuerte y racheado, acompañado o no de precipitaciones, y que corta de manera brusca un tiempo apacible y generalmente caluroso. En francés se utilizan los términos “galerie” o “entrée maritime subite” para referirse a dicho fenómeno.

Existen tres tipos de galerna. A continuación, se muestran las características de cada una de ellas. ¹¹

Imagen explicativa de cómo se forma una galerna



Fuente: https://www.google.es/search?q=formacion+de+una+galerna&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiDK-03N7WAhUMnRoKHeThCzMQ_AUICiqB&biw=1366&bih=662#imgrc=9iJ03aY6tLyReM



Fuente: https://www.google.es/search?biw=1366&bih=662&tbn=isch&sa=1&q=galerna&oq=galerna&gs_l=psy-ab.3...121906.122893.0.123146.17.6.0.0.0.0.0.0...0...1.1.64.psyab..17.0.0...0.PwzvlyhICZ0#imgrc=OrShNXIJ5v0F

NM:

8.1.1 GALERNA FRONTAL

- **VIENTOS**

En tierra, el viento más intenso afecta a la zona litoral, aunque aumenta también en el interior (en la galerna típica se restringe al litoral). La perturbación va paralela a la costa y afecta a la zona marítimo-costera (20 millas). Si comienza en Asturias, las rachas de viento pueden superar los 120 km/h. Si comienza en Cantabria, las rachas de viento alcanzan los 100 km/h en la costa de Vizcaya.¹¹

- **NUBOSIDAD**

En un principio escasa; nubes de altura media aumentando en cantidad y espesor con vientos del S; estratos bajos (aunque no siempre), y cúmulos y stratocúmulos al cambio del viento. También es posible la aparición de cumulonimbos.

- **PRESIÓN ATMOSFÉRICA**

Normales o ligeramente bajas, que descienden moderadamente con la aproximación del fenómeno; no descienden en general por debajo de los 1012 milibares a nivel del mar. Incluso pueden mantenerse estacionarias en toda la evolución.

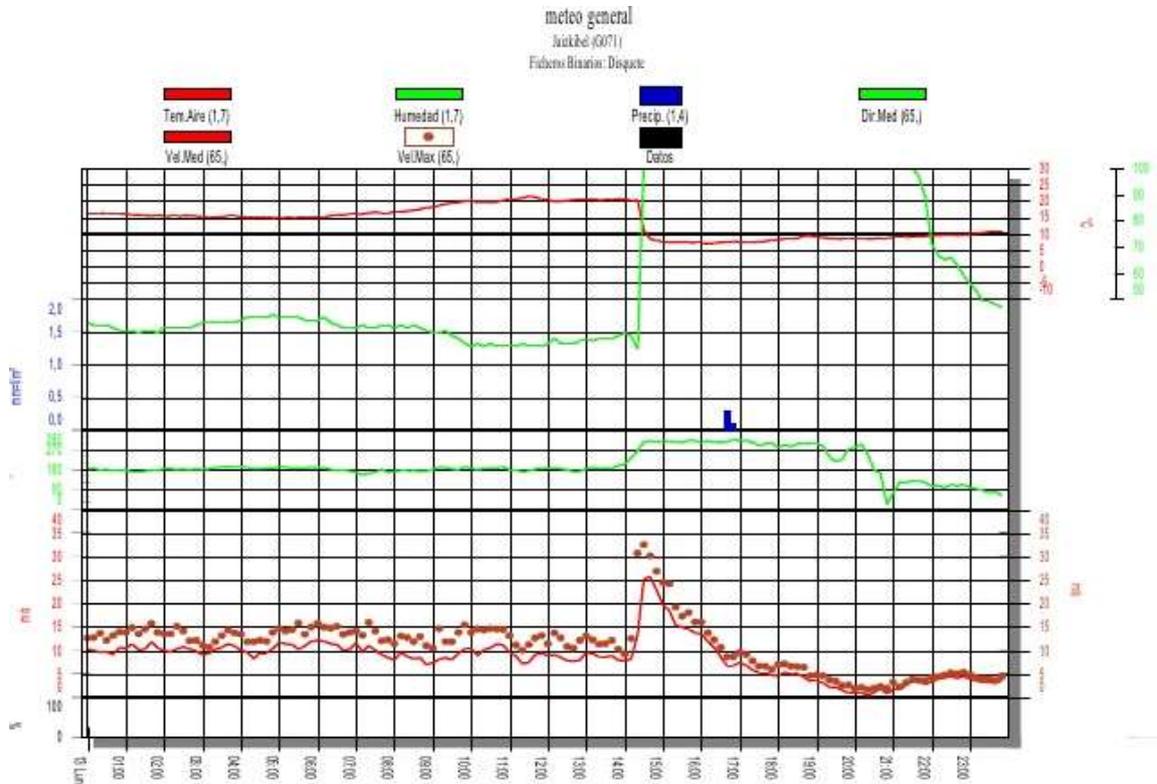
- **TEMPERATURAS**

Las temperaturas previas suelen ser elevadas, el viento Sur puede incrementar esta subida. Descienden ligeramente antes del cambio del viento y súbita y aceleradamente mientras arrecia la galerna. En verano la caída de temperaturas puede ser de hasta 14°C. ¹¹

- **HUMEDAD EN EL AIRE**

La humedad relativa del aire pasa de 35-45% antes de la galerna a más del 90% posteriormente.

Imagen de diferentes datos en los cuales se puede apreciar cambios que demuestran una galerna.



Fuente: https://www.google.es/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=galerna+frontal&oq=galerna+frontal&gs_l=psy-ab.3..0i24k1.75615.76609.0.76753.8.7.0.0.0.363.954.0j1j2j1.4.0....0...1.1.64.psy-ab..4.4.951....0.UIAhKXYvDw#imgsrc=UqBaa-vcP1zdSM:

8.1.2 GALERNA HIBRIDA

- **VIENTOS**

Los vientos del NW pueden alcanzar en ocasiones fuerza 9.

- **NUBOSIDAD**

La nubosidad que ha podido ser muy escasa con antelación al fenómeno, va aumentando con los vientos del sur, siempre con nubes altas o de altura media. Estas nubes van adquiriendo un aspecto retorcido y caótico. Con el cambio del viento el proceso es similar al caso anterior. Es probable comenzar a observar nubes bajas algunos minutos antes del cambio del viento. ¹¹

- **PRESIÓN ATMOSFÉRICA**

Presión bastante normal o con leves bajadas seis horas antes. Después, va descendiendo de forma continua hasta valores moderadamente bajos (Normalmente no inferiores a 1010 milibares, aunque se han llegado a registrar 1008 milibares).

- **TEMPERATURAS**

En general, el descenso de las temperaturas es más acusado. Los termómetros pueden llegar hasta los 12 ó 14°C (temperaturas muy por debajo de la temperatura superficial del agua del mar normal para esa época). El calor, como en el caso de la galerna frontal está generado por vientos del Sur. ¹¹

- **HUMEDAD EN EL AIRE**

Similar a la galerna frontal.

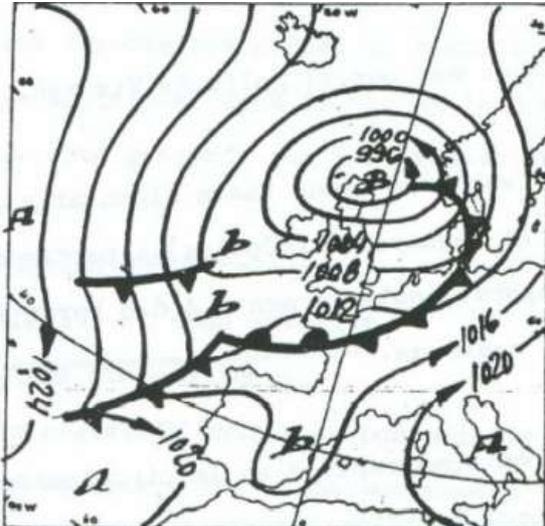


Imagen de un modelo con sus correspondientes isobaras. Fuente: <https://aemetblog.es/2016/09/07/las-galernas/>

8.1.3 GALERNA TÍPICA

- **VIENTOS**

Se identifican dos tipos de galernas típicas, pantano barométrico y la de suave circulación del S. En las de pantano barométrico, la mañana y las primeras horas de la tarde están encalmadas o el viento de sur es sumamente flojo. Una o dos horas antes, pueden darse intervalos de vientos de componente E, relativamente cálidos (alternando a veces con intervalos de S).

Súbitamente salta el viento a NW. de moderado a muy fuerte. En las de suave circulación del S. éstos son los vientos que dominan casi constantemente hasta el inicio del fenómeno. Estas pueden ser más peligrosas que las que se desarrollan en “pantano barométrico”, ya que impiden la formación de brisas que anularían el proyecto de galerna con mayor facilidad. Además, retrasan el proceso, con mayor acumulación de energía y las temperaturas pueden alcanzar valores mayores. ¹¹

- **NUBOSIDAD**

Cielos despejados o con ligeros cirros por la mañana. Ligera bruma en el horizonte del mar; en tierra puede haber leve calima, también. Dos horas antes, aproximadamente, aparecen un cúmulo o estratocúmulo encima de Cabo Matxitxako, pudiendo desaparecer para volver a formarse. El viento treinta minutos antes del inicio de la galerna, pueden empezar a deslizarse desde el mar a la costa estratos bajos. Si aparecen estrías en ellos, la violencia será mucho mayor. Cuando salta el viento al NW, las nubes son bajas y muy densas. Todo este proceso se da, por lo general, por debajo de los 600 metros de altitud. Por encima de este nivel, permanecen las condiciones sinópticas.¹¹

- **PRESIÓN**

Pueden estar perfectamente estacionarias antes, en y después del proceso, aunque pueden descender muy ligeramente. Casi siempre están o llegan a descender hasta (1014 ± 1) mb.

- **TEMPERATURAS**

Son altas al principio de la mañana o suben prontamente. Para el mediodía los termómetros pueden señalar ya los 27°C, si es junio; 30°C, si es julio o agosto y 29° si es septiembre. Las temperaturas suben más todavía en las primeras horas de la tarde. A partir de 8°C de diferencia entre la temperatura del aire y la del mar, la situación es ya de prevención. El calor es debido más al efecto solar que a la advección de las masas de aire. El descenso de temperaturas raramente sobrepasa la cota de temperaturas medida en el agua del mar. En general, al final, la temperatura del aire es similar a la del agua del mar.

- **HUMEDAD**

Antes de la galerna la humedad del aire se estaciona sobre el 50% durante algunas horas. En la galerna puede subir hasta el 90%. ¹¹

8.2 MAREJADA CICLÓNICA

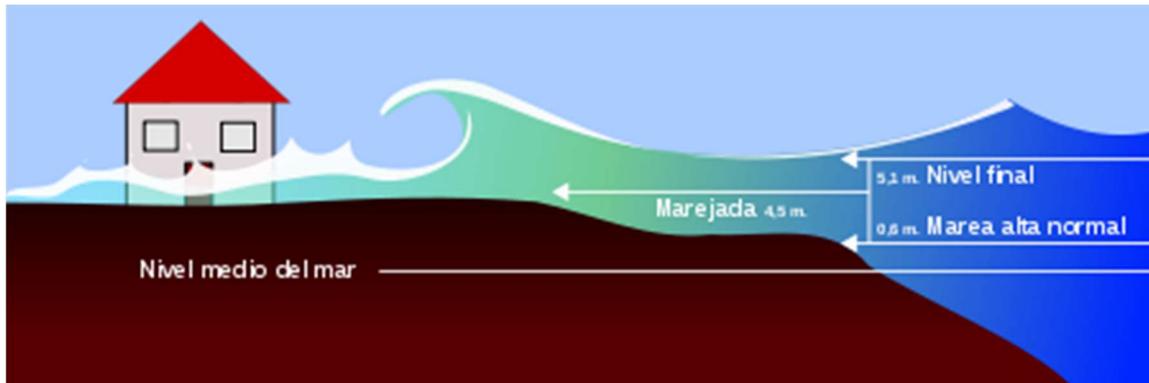
La marejada ciclónica es una inundación costera asociada con un sistema atmosférico de baja presión (normalmente, con un ciclón tropical). La marejada ciclónica es principalmente producto de los vientos en altura que empujan la superficie oceánica. El viento hace que el agua se eleve por encima del nivel del mar normal. La baja presión en el centro del sistema atmosférico también tiene un pequeño efecto secundario, ya que puede alterar la batimetría de la masa de agua. El efecto combinado de la baja presión y el viento persistente sobre una masa de agua poco profunda es la causa más común de los problemas de la marejada ciclónica.³

La marejada ciclónica es particularmente dañina cuando coincide con la pleamar, ya que los efectos de la marejada se combinan con los de la marea. Esto aumenta la dificultad de predecir la magnitud de la marejada ciclónica, dado que requiere predicciones meteorológicas muy precisas en pocas horas.

Los eventos más extremos de marejada ciclónica ocurren como resultado de sistemas atmosféricos extremos, como los ciclones tropicales, pero también puede ser producto de tormentas menos potentes.

La mayor marejada ciclónica fue producida por el ciclón Mahina de 1899, que provocó un aumento de hasta 13 metros en la bahía de Bathurst, Australia. En los Estados Unidos, la marejada ciclónica más grande que se ha medido fue provocada por huracán Katrina en 2005, que produjo un aumento de 9 metros en la población de Bay St. Louis, Misisipi. La marejada ciclónica más importante en términos de pérdida de vidas humanas fue ciclón Bhola de 1970; en términos generales, la bahía de Bengala es especialmente propensa a sufrir este fenómeno.³

imagen explicativa del proceso de la marejada ciclónica



Fuente: Wikipedia (en general)

8.2.1 MECÁNICA DE LA MAREJADA CICLÓNICA

Al menos cinco procesos participan en la alteración de la marea durante una tormenta: los efectos de presión, el efecto directo del viento, el efecto de la rotación terrestre, el efecto de las olas y el efecto de la lluvia. En el océano abierto, la presión en un ciclón tropical provoca el aumento del nivel del agua en las regiones de baja presión y su disminución en las regiones de alta presión. La tensión del viento provoca un fenómeno cuyo efecto es que los niveles del mar en la costa tiendan a aumentar al disminuir éste, y viceversa. Este efecto es inversamente proporcional a la profundidad. En costa abierta, llegará a las bahías de la misma forma que sucedería si fuese una marejada astronómica.³

La altura de las olas y de la marejada en costa dependen directamente de la configuración y batimetría del fondo oceánico. Una pequeña elevación, o un terreno escarpado en el litoral que se hunde antes de llegar a la costa y en consecuencia da lugar a aguas de gran profundidad cerca de la línea costera tenderá a producir menos marejada, pero olas más altas y potentes. Esta situación se ha observado a lo largo de la costa sudeste de Florida. El extremo del "Floridian Plateau", donde el agua profunda alcanza los 91 metros, está a sólo 3 km de la costa de Palm Beach (Florida); a 7 km, la profundidad cae hasta los 180 metros (Lane, 1980).

El contorno de 180 metros continúa al sur de Palm Beach County y se localiza a más de 30 km al este de los Cayos superiores.

Inversamente, las líneas costeras a lo largo del Golfo de México desde Texas a Florida descienden de manera suave. En la costa del Golfo en Florida, el extremo del Floridian Plateau se encuentra a más de 160 km de la Isla Marco en Collier County. La Bahía de Florida, entre los Cayos de Florida y tierra firme, es también muy baja; las profundidades varían típicamente entre 0.3 y 2 metros (Lane, 1981). Estas áreas están sujetas a marejadas ciclónicas más altas, pero olas más pequeñas.

Esta diferencia se debe a que en aguas más profundas la marejada puede dispersarse por debajo y lejos del huracán; sin embargo, al entrar en una costa que desciende suavemente, la marejada no puede ser dispersada y se dirige tierra adentro por la tensión del viento huracanado.

La topografía de la superficie es otro elemento importante en la marejada ciclónica. Las áreas donde la superficie está a sólo unos pocos metros sobre el nivel del mar son muy peligrosas durante una inundación por marejada ciclónica.³



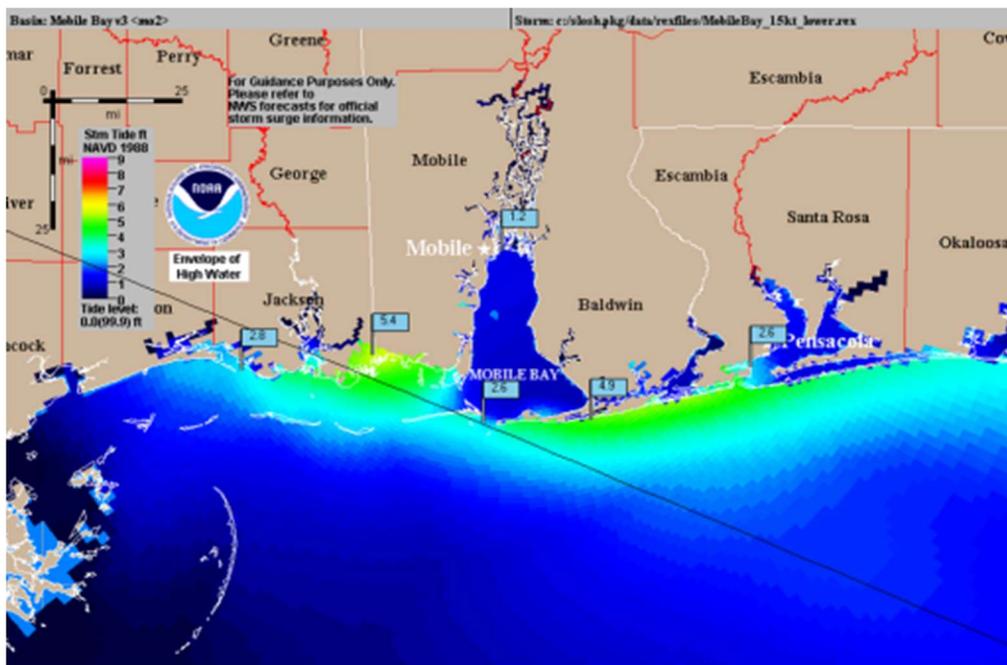
Fuente: https://www.google.es/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=mar+antes+y+despues+del+irma&oq=mar+antes+y+despues+del+irma&gs_l=psyab.3...11940.19556.0.19730.42.31.3.0.0.0.220.3031.16j12j1.29.0...0...1.1.64. psy-ab..17.9.742...0i0i67k1j0i7i30k1j0i24k1.0.vR08eSmC_C4#imgrc=by-vnEzKtQQ4fM:

8.2.2 ¿CÓMO PREVENIR LAS MAREAS CICLÓNICAS?

El Centro Nacional de Huracanes pronostica inicios de tormentas usando el modelo SLOSH (acrónimo de Sea, Lake and Overland Surges from Hurricanes, que significa surgimientos o marejadas marinas, lacustres y terrestres debidas a huracanes). Las entradas de SLOSH incluye la presión central de un ciclón tropical, tamaño de la tormenta, el movimiento hacia adelante del ciclón, su trayectoria, vientos máximos sostenidos, la topografía local, orientación de bahías, ríos, profundidad del fondo del mar, mareas astronómicas, como todo otro asunto físico se toman en cuenta, en una predefinida grilla referida a una base SLOSH. Para controlar las incertidumbres de trayectoria y de pronóstico, se suelen utilizar varios modelos con distintos parámetros de entrada para generar una carta denominada MOM (Maximum of Maximums o Maximum of MEOWM, es decir, máximo de máximos o máximo de MEOW).

Para estudios de evacuación de huracanes, se modela una familia de tormentas con trayectorias representativas de la región, variando los factores tales como la intensidad, el diámetro de ojo y la velocidad para producir los niveles de agua máximos posibles en un ciclón tropical. Los resultados de tales estudios suelen generarse a partir de varios miles de ciclos de ejecución de SLOSH. ³

Imagen del modelo NOAA para la predicción de mareas ciclónicas



Fuente: https://www.google.es/search?q=marea+ciclonica+slosh&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi90t_M4N7WAhUIXRoKHQ-OBx4Q_AUICiqB&biw=1366&bih=662#imgrc=zxRypnZ56D8i9M

Imagen del modelo de vientos de un huracán en relación con las mareas ciclónicas.



Fuente: https://www.google.es/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=wind+hurricanes+maps&og=wind+hurricanes+maps&gs_l=psy-ab.3...3746.4328.0.5104.5.5.0.0.0.0.89.401.5.5.0....0...1.1.64.psy-ab..0.0.0....0.ov7wZUwmU2E#imgrc=cW4s0iR-AdB5EM:

8.3 TURBONADA

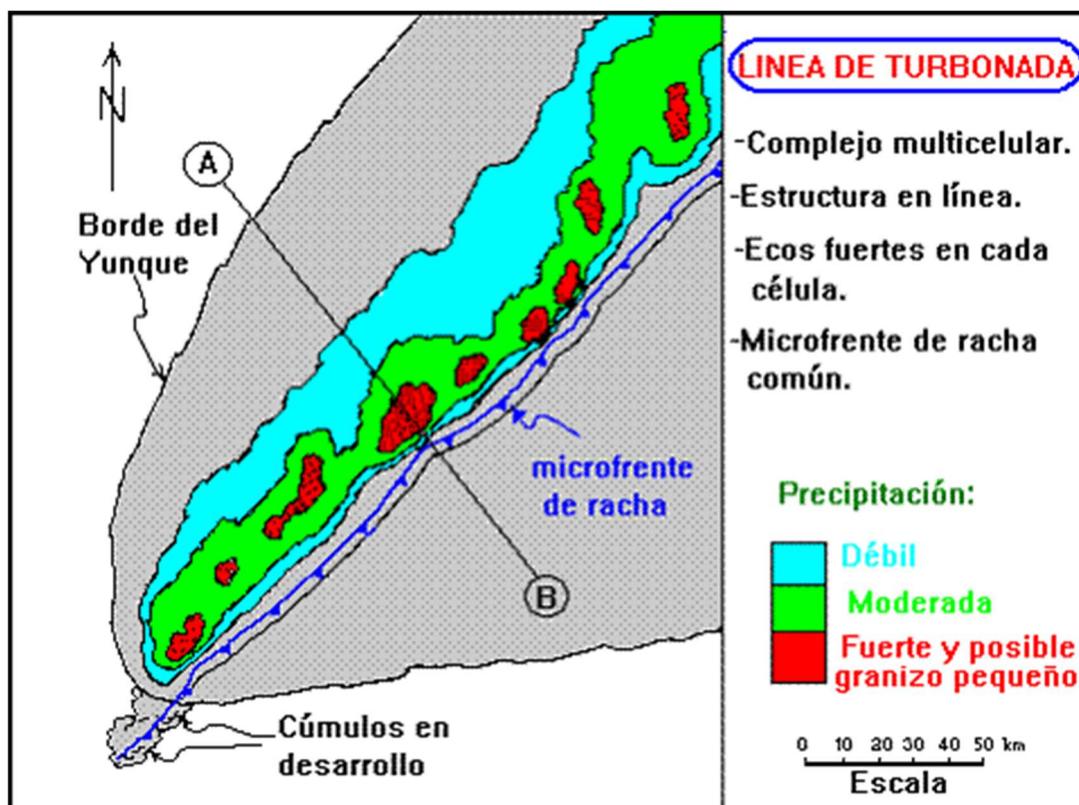
Antes de definir lo que es una turbonada hay que aclarar que dicho termino puede significar dos cosas. A continuación, definiremos las dos.

Una turbonada es un aumento repentino y fuerte de la velocidad del viento que suele ser asociada a tempestades, tales como lluvias, tronadas o nevascas. Las turbonadas se refieren a un aumento sostenido del viento durante un intervalo breve de tiempo, dado que puede haber rachas mayores durante el transcurso de una turbonada.

Este fenómeno suele ocurrir en regiones con fuertes caídas de alturas de medio nivel, o enfriamientos troposféricos de nivel medio, que fuerzan fuertes movimientos ascendentes en el límite de la región de enfriamiento, que luego inducen movimientos descendentes locales a su paso.³

En el segundo significado es en el que nos vamos a centrar. Hablamos del significado de una línea de turbonada.

imagen explicativa de lo que es una línea de turbonada



Fuente: https://www.google.es/search?q=linea+de+turbonada&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjkg6fA597WAhUDvBoKHdoDDv8Q_AUICiqB&biw=1366&bih=662#imgrc=eVAOa3XBryis0M:

Una línea de turbonada es una línea organizada de tormentas. Se clasifica como un grupo multicelular, es decir, un grupo de tormentas complejas con muchas corrientes ascendentes. También son llamadas líneas multicelulares.

Las turbonadas son asociadas a veces con huracanes o otros ciclones, pero también pueden ocurrir de forma independiente. Normalmente, las turbonadas ocurren a lo largo de frentes, y suelen contener fuertes precipitaciones, granizo, frecuentemente rayos, peligrosos vientos en línea recta, y posiblemente nubes embudo, tornados y mangas de agua. Las turbonadas lineales requieren significativamente altos niveles de calor y humedad, un frente cercano, y cizalladura vertical desde un ángulo detrás del límite frontal.

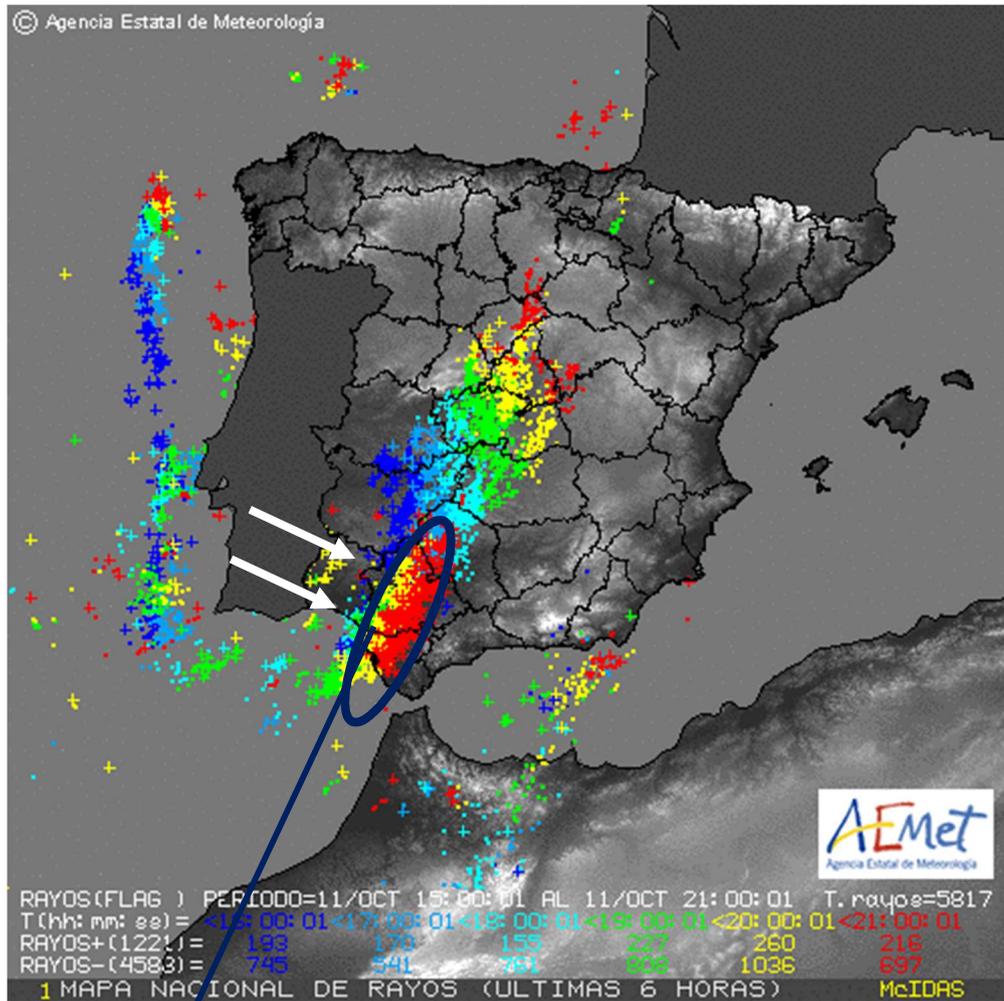
Los fuertes vientos en superficie son normalmente un reflejo de aire seco penetrando en una línea de tormentas, que cuando se saturan, caen rápidamente al nivel del suelo debido a su mayor densidad antes de que se extienda a favor del viento. En Inglaterra, una turbonada asociada con un tiempo tempestuoso se conoce como blunk.³

Imagen de satélite en la cual se aprecian una serie de Cb con sus líneas de turbonada



Fuente: https://www.google.es/search?q=linea+de+turbonada&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjkq6fA597WAhUDvBoKHdoDDv8Q_AUICiqB&biw=1366&bih=662#imgrc=eVAOa3XBryis0M:

(1)



(2) Fuente: https://www.google.es/search?q=linea+de+turbonada&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwikq6fA597WAhUDvBoKHdoDDv8Q_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=GM_fK7F0WV0uzM:

En la imagen (1) de satélite del canal visible anterior, podemos apreciar perfectamente las líneas de turbonada de los dos grandes Cumulonimbus (Cb) en la Costa este peninsular.

Estas líneas de turbonada son el principio de la tormenta, presagiando la llegada de una cortina de lluvia que es frecuentada por fuertes vientos y aparato eléctrico. Este aparato eléctrico se puede ver claramente en las imágenes que capta el radar y en los mapas de rayos (2) (como por ejemplo el que dispone la Aemet en su página).³

También podemos observar que estos grandes Cb forman una sombra debido a su gran altura. (1)

8.3.1 FORMACIÓN

La mayor fuerza conductora tras la creación turbonada lineal se atribuye al proceso de relleno de múltiples tormentas y/o una única área de tormentas expandiéndose hacia fuera dentro del espacio que lidera un frente frío.

Un aspecto que hay que tener muy en cuenta es la cizalladura. En condiciones de baja o media cizalladura, las tormentas maduras contribuirán con cierta cantidad de corrientes descendentes, suficientes para crear una sustentación (el frente de rachas). En condiciones de alta cizalladura creada mediante la oposición de corrientes de aire de baja altura y vientos sinópticos, las corrientes ascendentes y consecuentemente corrientes descendentes pueden ser mucho más intensas (algo común en mesociclones de supercélulas). El aire frío de salida abandona el área de cola de la turbonada lineal para una corriente de viento de media altura, que ayuda en los procesos de corrientes descendentes.³



Fuente: https://www.google.es/search?biw=1366&bih=662&tbn=isch&sa=1&q=supercelulas+en+el+mar&oq=supercelulas+en+el+mar&gs_l=psy-ab.3...335514.338652.0.338833.23.12.0.0.0.0.324.1969.2-5j2.7.0...0...1.1.64.psy-ab..20.3.811...0j0i13k1j0i67k1j0i7i30k1.0.pB3C-Q3gRyY#imgrc=9yzv9lpo_f5uTM:

8.3.2 EVOLUCIÓN

En la evolución tenemos que tener dos aspectos importantes para tener en cuenta.

- **CORRIENTES ASCENDENTES**

Cuando las tormentas rellenan líneas distintas, fuertes corrientes ascendentes de la parte frontal - ocasionalmente visibles desde el suelo mediante la forma de una nube arqueada - podrían aparecer como un signo ominoso de tiempo potencialmente severo.

Más allá de los fuertes vientos debidos al comportamiento de las corrientes ascendentes/descendentes, fuerte lluvia (y granizo) hay otro signo de una turbonada lineal. En invierno, las turbonadas lineales pueden aparecer, aunque de forma poco frecuente - trayendo fuertes nevadas y/o rayos y truenos - normalmente sobre lagos tierra adentro (por ejemplo, en la región de los Grandes Lagos).³

- **MESOBAJA**

El final de una turbonada lineal que se encuentre más al norte se conoce comúnmente como un final ciclónico, con la parte sur rotando asincrónicamente. Debido al efecto Coriolis, el final norte puede continuar evolucionando, creando una mesobaja con forma de coma, o puede continuar con un patrón similar al de una turbonada.

8.3.3 DISIPACIÓN

Mientras las supercélulas y las tormentas multicelulares se disipan debido a la debilidad de la fuerza de cizalladura o mecanismos de suspensión pobres, (por ejemplo un terreno considerable o la falta del calor diurno) la turbonada lineal o el frente de rachas asociados con ellos podría rebasar a la turbonada lineal a sí misma y el área de escala sinóptica de bajas presiones podría rellenar, provocando un debilitamiento del frente frío; esencialmente, la tormenta ha agotado sus corrientes ascendentes, convirtiéndose en un sistema dominado por las corrientes descendentes. ³

Las áreas de disipación de tormentas de la turbonada lineal podrían ser regiones de baja Energía Potencialmente Disponible y Conectiva (CAPE), humedad baja, cizalladura insuficiente, o malas dinámicas sinópticas (por ejemplo, un nivel superior de poco relleno) conduciendo a una frontolisis.

A partir de aquí, un adelgazamiento general de una turbonada lineal ocurrirá: con vientos decayendo con el paso del tiempo, las fronteras de salida debilitando las corrientes ascendentes substancialmente y las nubes perdiendo su grosor.³

Imagen de un Cb sobre el mar con su línea de turbonada



Fuente: https://www.google.es/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=cumulonimbus+arcus+en+el+mar&og=cumulonimbus+arcus+en+el+mar&gs_l=psy-ab.3...10625.11971.0.12762.9.9.0.0.0.0.298.1447.0j2j4.6.0...0...1.1.64.psy-ab..7.0.0...0.kaRiSsHfHpk#imgrc=TLsn6-u61z7W2M: ambas

Imagen de un Cb sobre el mar con su línea de turbonada



9. CLIMATOLOGÍA

9.1 LA SUBIDA DE TEMPERATURAS GRADUAL DEL PLANETA

En los últimos años el satélite Envisat de la Agencia Espacial Europea (ESA), ha visualizado una disminución del área en el hielo ártico. Gracias a este deshielo se podrán crear en un futuro dos rutas marítimas: el Pasaje Noroeste y la ruta del Mar del Norte de Rusia. El grosor de la capa de hielo del Océano Ártico en los últimos cinco años han sido las menores desde que se tienen registros.²⁴

Desde agosto de 2016, la ruta del Mar del Norte de Rusia permanece abierta al tráfico marítimo. El deshielo y la posibilidad de acceder a los yacimientos y recursos biológicos del Océano Ártico, además de disparar la actividad científica y económica en el Ártico, está llevando a los países de dicha zona a incrementar las actividades. La búsqueda de hidrocarburos trae como consecuencia que estos países cobren una importancia sobre la misma en la Plataforma Ártica.

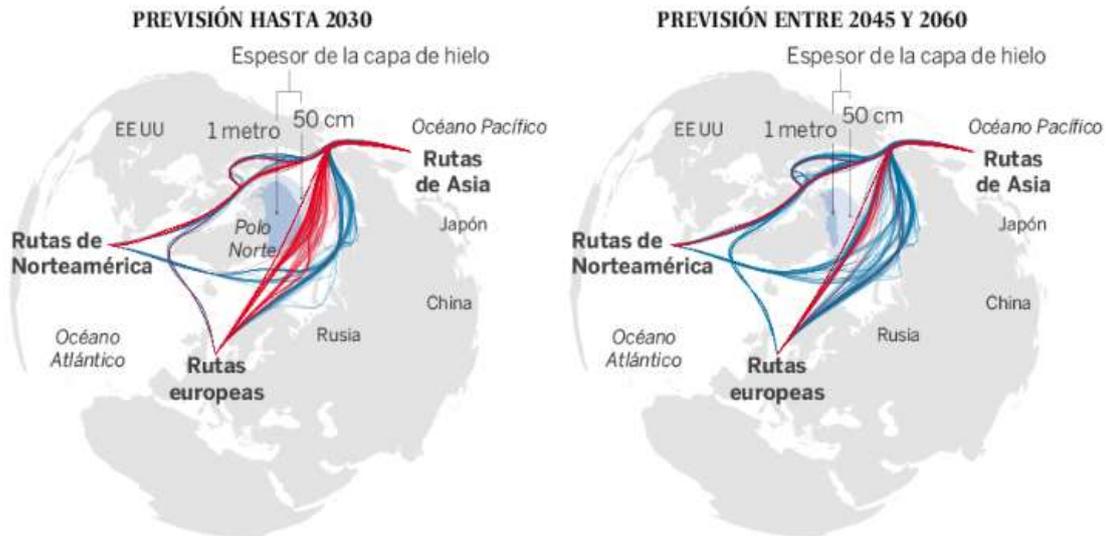
Durante los 30 últimos años, según la ESA, la cubierta mínima de hielo al final del verano ha pasado de los 8 millones de kilómetros cuadrados en los años ochenta a los menos de 4,24 millones de kilómetros cuadrados que marcaron el mínimo en 2007.²⁴

Imagen explicativa de la reducción de hielo en las aguas marítimas y las posibles rutas que se podrían formar.

RUTAS MARÍTIMAS A TRAVÉS DEL ÁRTICO

Previsión de tráfico marítimo en las rutas más rápidas para atravesar el Círculo Polar Ártico y conectar Europa, Norteamérica y Asia.

- Circulación de barcos rompehielos
- Tráfico marítimo regular



Como consecuencia del calentamiento global, los buques rompehielos podrían abrir rutas al tráfico comercial a través de capas de hielo de 1,2 metros de grosor.

El deshielo en el Ártico hará más habitual el tráfico marítimo a través del Polo Norte.

REDUCCIÓN DE LA RUTA MARÍTIMA PACÍFICO - ATLÁNTICO

Distancia entre Hamburgo (Alemania) y Shangái (China)

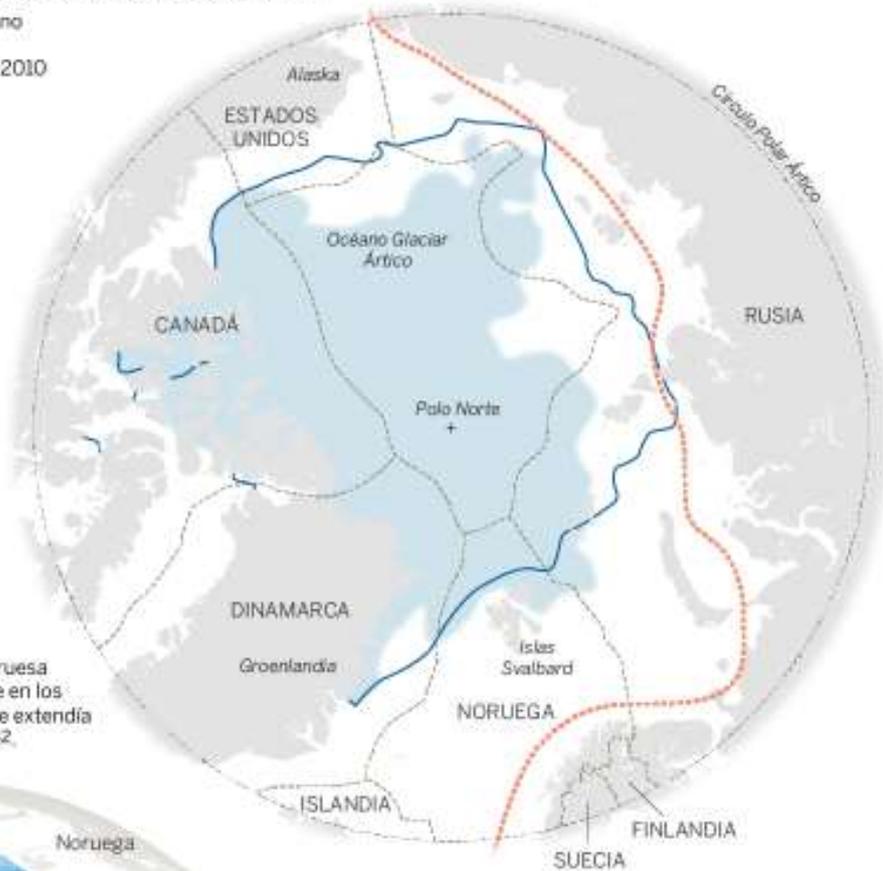


Fuente: https://elpais.com/elpais/2017/05/10/media/1494430962_123234.html

Imagen explicativa del proceso del deshielo en el océano Ártico

PROCESO DEL DESHIELO EN EL OCÉANO GLACIAR ÁRTICO

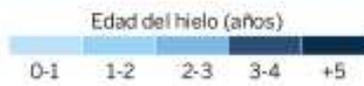
Extensión del hielo en verano



HIELO EN EL ÁRTICO

Septiembre de 1984

La capa de hielo viejo –de más de 5 años– era más gruesa y más resistente a fundirse en los veranos cálidos. En 1984 se extendía a lo largo de 1.860.000 km².



Septiembre de 2016

En 32 años, esa misma capa de hielo viejo se redujo a 110.000 km². Queda un 6% de lo que había en 1984.

Fuente: https://elpais.com/elpais/2017/05/10/media/1494430962_123234.html

9.2 ASPECTOS POSITIVOS/NEGATIVOS DEL CALENTAMIENTO GLOBAL Y SUCESIVAMENTE DEL DESHIELO DEL ÁRTICO

9.2.1 CASO 1:

El buque Ruso Christophe de Margerie (LNG), ha conseguido cruzar el Ártico en el menor tiempo registrado hasta la fecha: 6 días, 12 horas y 15 minutos.²⁵

Construido para la naviera rusa Sovcomflot, el buque realizó la ruta marítima del norte (paso del Noreste), partiendo desde Hammerfest en Noruega hacia el puerto de Boryeong en Corea del Sur. La travesía abarcó 2.193 millas náuticas (4.060 km), durando un total de 19 días.

Este buque cuenta con un sistema de propulsión de 45 MW similar al de un moderno rompehielos de propulsión nuclear. Debido a sus características, a este buque se le cataloga la categoría Arc7, la cual permite la navegación durante todo el año por estas aguas sin la necesidad de buques rompehielos. El buque realizó la ruta a una velocidad media de 14 nudos, incluso cuando atravesó capas de agua helada de 1,2 metros de espesor, permitiendo al Christophe de Margerie ahorrar un 30% del tiempo que se necesita para completar la ruta regular del sur, a través del Canal de Suez.

La ruta realizada por este buque pone en duda y como idea a otras compañías de realizar dicha ruta y del potencial económico de la ruta del Mar del Norte para los buques de gran capacidad debido al gran ahorro de tiempo, recorrido, y por tanto económico.²⁵

Imagen de un buque gasero en proceso de carga/descarga.



Fuente: <http://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2017/08/26/59a070b3268e3ea1038b4788.html>

Pero como todo, nada es perfecto. Un aspecto que ven muy negativo los ecologistas es del impacto ambiental que sufrirá la zona. "Desde 2010 a 2014, se ha duplicado el número de barcos que lo cruzan", ha asegurado Pilar Marcos, responsable de la campaña Salvar el Ártico de Greenpeace.

Debido a que en los últimos 30 años el Ártico ha perdido 3/4 partes de hielo, para Marcos aumentar aún más el tráfico marítimo dañaría esta área virgen del planeta, muy vulnerable ya al calentamiento global. El uso de agua caliente por los rompehielos sumado a las fracturas que producen las hélices y el oleaje del tráfico reducen el espesor de la masa de agua sólida. "El efecto que conlleva que cada barco atraviese esta zona es un aumento de las temperaturas del agua de la región y la erosión del hielo", ha explicado Marcos.²⁵

El aumento de accidentes por un incremento del tráfico preocupa a Greenpeace. "Más barcos pueden romper sus cascos y verter contaminantes", ha comentado Marcos.

- **ZONA MARÍTIMA PROTEGIDA**

La creación de una zona marina protegida, como se hizo con la Antártida podría ser la solución para el Ártico. Por tanto, se realiza un posible tratado a través de las Naciones Unidas con la ley UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea) de protección del mar, en el cual se podría conservar un 10% de las zonas de costa en el norte. Hasta 150 países intentan, con este convenio, garantizar la gestión común de las aguas. "El último logro es que en 2018 comienza la ronda de negociaciones para dar forma al tratado de la regularización de las aguas internacionales", ha aseverado Marcos.²⁵

Sin embargo, "otra vez Rusia y Noruega se oponen a este tratado ya que el tráfico de mercancías por esa zona supone una oportunidad de negocio. Los cinco países ribereños del Ártico, con Rusia y Noruega a la cabeza, ven la gallina de los huevos de oro por el deshielo, y porque podrían acceder al gas y al petróleo de debajo del Ártico", ha dicho.

Islandia debido a su localización, ve una posibilidad de tráfico marino en la zona, con el puerto Reikiavik. Por lo cual este país no estaría de acuerdo con la creación de un santuario marino evidentemente, debido a sus beneficios económicos.²⁵

9.2.2 CASO 2:

El Crystal Serenity completó en 32 días la travesía que al explorador noruego Roald Amundsen le costó tres años en la primera década del pasado siglo. Este buque es el primer crucero que navega por el pasaje que comunica los Océanos Pacífico y Atlántico en el Ártico Canadiense (Paso del Noroeste) con 1600 personas a bordo. El deshielo de los polos a causa del calentamiento global ha creado esta ruta la cual hace unos años suponía un verdadero peligro cubrirla y que actualmente se puede realizar de manera segura y por tanto abriendo el negocio turístico y comercial del mismo, el cual a los ecologistas no les parece adecuado.²⁶

Imagen de los 14 puertos que tocará el buque Crystal Serenity.



Fuente: https://elpais.com/elpais/2016/09/06/ciencia/1473156612_534482.html

En la actualidad, existen un grado menor de riesgos surcar por estas aguas. Aun así, para asegurar dicha travesía, junto al crucero (249 metros de eslora) navega un barco rompehielos y de socorro. Hasta hace poco, resultaba imprescindible para navegar por el Ártico, pero el deshielo ha disminuido el uso del mismo.²⁶

El año pasado la capa de hielo del Ártico se redujo al nivel más bajo jamás registrado en invierno. Algunos científicos prevén que en pocas décadas podría quedar libre de hielo en verano.²⁶

Michael Byers, experto en el Ártico e investigador en política global de la Universidad de British Columbia en Vancouver (Canadá), no muestra preocupación por la seguridad del crucero. La naviera ha tomado muchas precauciones, incluido usar combustible ligero. A su entender, el problema es que “abre la puerta a viajes similares en el futuro, incluidos barcos más grandes, por parte de compañías que no están dispuestas a tomar las medidas de seguridad necesarias”.

Este especialista sostiene que los equipos de emergencia canadienses no están preparados para afrontar un accidente como el del Costa Concordia en la isla de Giglio (Italia) en enero de 2012, en el que murieron 32 personas. “El Ártico es infinitamente más peligroso que la costa de Italia”, advierte Byers, quien recuerda que los helicópteros de emergencia tienen su base en el sur de Canadá, a más de un día de vuelo del Paso del Noroeste. La ONG ecologista WWF considera elevado el riesgo de accidente en esa zona y alerta de la dificultad de limpiar un posible derrame de petróleo en un área remota.

Crystal llevaba tres años preparando el crucero. La última parada del Serenity, que incluye múltiples servicios y ofertas de ocio fue Pond Inlet, un enclave con 1.500 habitantes, en su mayoría indígenas, en el extremo norte de Canadá para luego viajar a Groenlandia.²⁶

Byers aprecia una “terrible ironía”: el crucero permite llevar el turismo de masas a una zona aislada donde se aprecia el paisaje mágico del Ártico, pero tales travesías “generan emisiones muy altas de dióxido de carbono, por lo que contribuyen al cambio climático. Van a ver el Ártico antes de que desaparezca, pero al ir están acelerando el proceso.”²⁶

Imagen del buque Crystal Serenity navegando por el Ártico



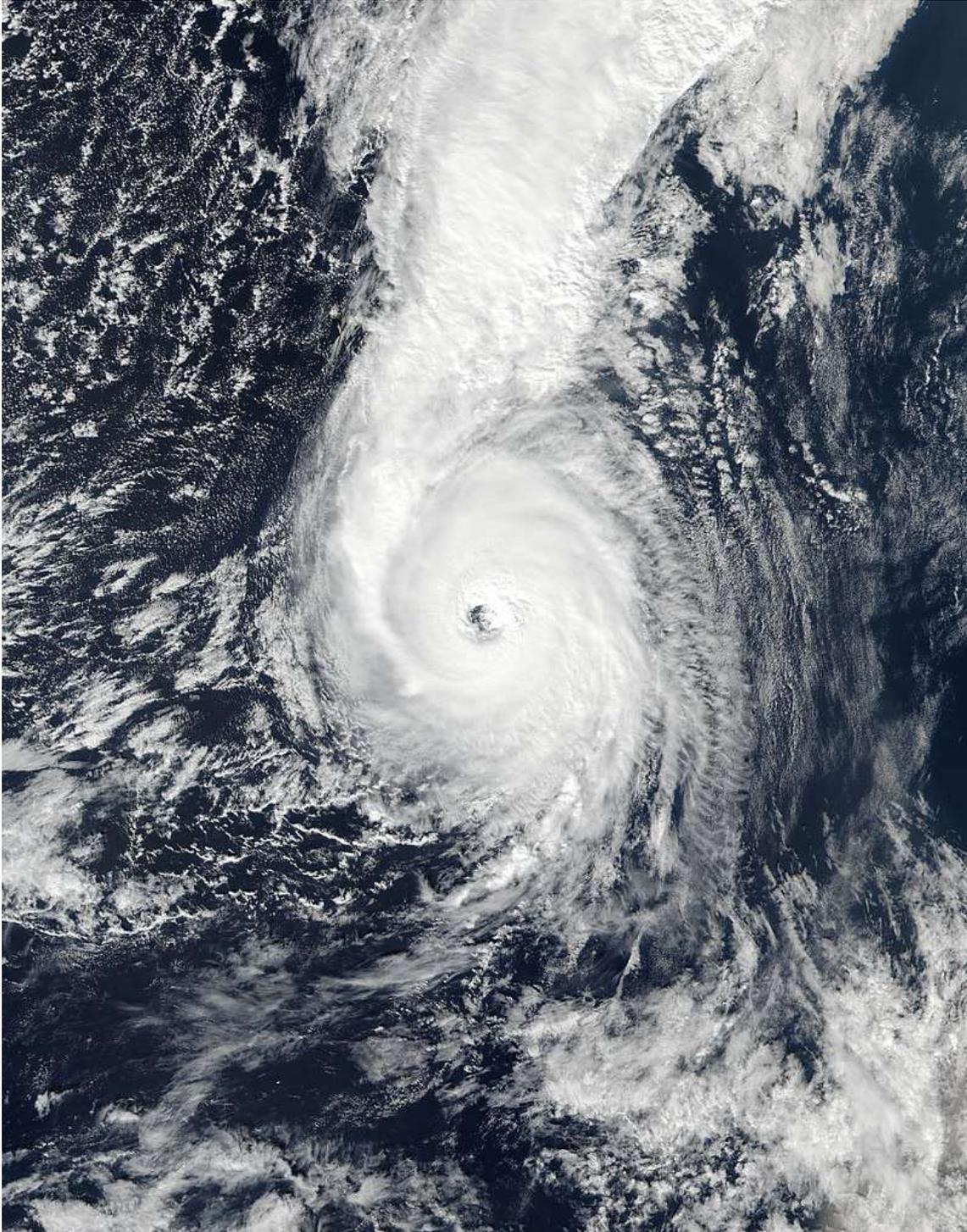
Fuente: <http://blog.unmundodecruceros.com/2017/05/crystal-cruises-retoma-su-apasionante-travesia-por-el-pasaje-del-noroeste.html>

Resumiendo, y bajo mi punto de vista, creo que en estos dos casos podemos ver que tanto países y compañías luchan contra ecologistas en el beneficio de cada uno de ellos. En el caso de los países y compañías, el propio beneficio del ahorro de combustible y tiempo el cual por otras rutas posibles encarecería el precio de los fletes más el correspondiente aumento económico de combustible y tiempo. El beneficio de los países de dichas zonas va conforme a la extracción de hidrocarburos y combustibles fósiles que en estas épocas de escases haría dichos países más ricos.

En cuanto a los ecologistas, sus beneficios recaen en el cuidado del medio ambiente y de las áreas vírgenes en las cuales navegarían estos buques. Áreas en las cuales hace unos años era imposible navegar debido la gran cantidad de hielo que había.²⁶

10.HURACÁN OPHELIA

Imagen del huracán Ophelia en su plenitud



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n_Ophelia_\(2017\)#/media/File:Ophelia_2017-10-14_1454Z.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Hurac%C3%A1n_Ophelia_(2017)#/media/File:Ophelia_2017-10-14_1454Z.jpg)

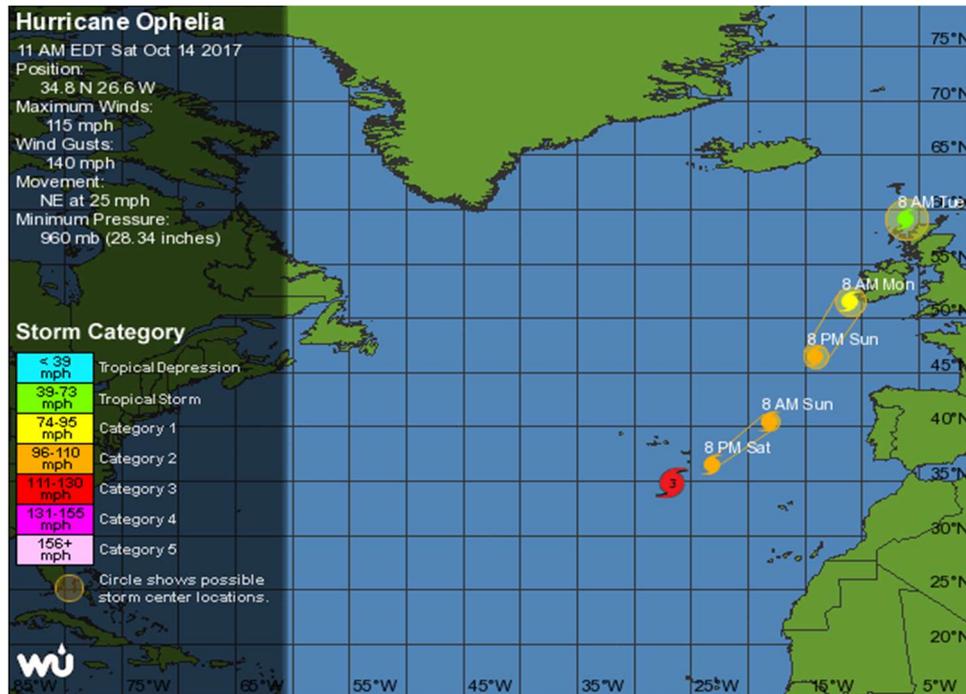
Antes de comenzar a desarrollar dicho apartado, tengo que destacar que parte de la información de este apartado fue ampliada debido a la ayuda de D. Ángel Rivera, meteorólogo que perteneció a la AEMET, prestándome su experiencia y datos respecto a la situación del huracán Ophelia, quedando reflejada dicha información a continuación.

Ophelia, huracán que alcanzó la categoría 3 en la escala Saffir-Simpson en el atlántico Norte, se formó con una temperatura de superficie del mar por debajo de la media. Las temperaturas por debajo de Ophelia rondaban los 25 ° C, que es aproximadamente 1.5 ° C por debajo del punto de referencia tradicional de los niveles de SST para mantener intensos huracanes. Pero el huracán Ophelia consiguió desarrollarse en las aguas del Atlántico debido a diferentes causas que a continuación se explicaran.²⁸

Hay que señalar que estas aguas están a aproximadamente 2 ° C más cálidas del promedio para la ubicación y la época del año.

Con todo ello la inestabilidad existente en la zona es suficiente significativa como para desarrollar precipitaciones convectivas y organizadas.²⁸

Imagen de las categorías que alcanzó el huracán Ophelia



Fuente: https://www.google.es/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=mapa+de+trayectoria+huracan+ophelia&oq=mapa+de+trayectoria+huracan+ophelia&gs_l=psyab.3...16004.24601.0.24680.45.37.4.0.0.0.269.4452.2j21j4.27.0...0...1.1.64.psyab..14.26.3903...0j0i67k1j0i10k1j0i8i30k1j0i24k1j0i13k1j0i8i13i30k1.0.5RQQdGsTEO8#imgrc=9I0iu6rfaH

2XSM:

10.1 DESARROLLO DE OPHELIA

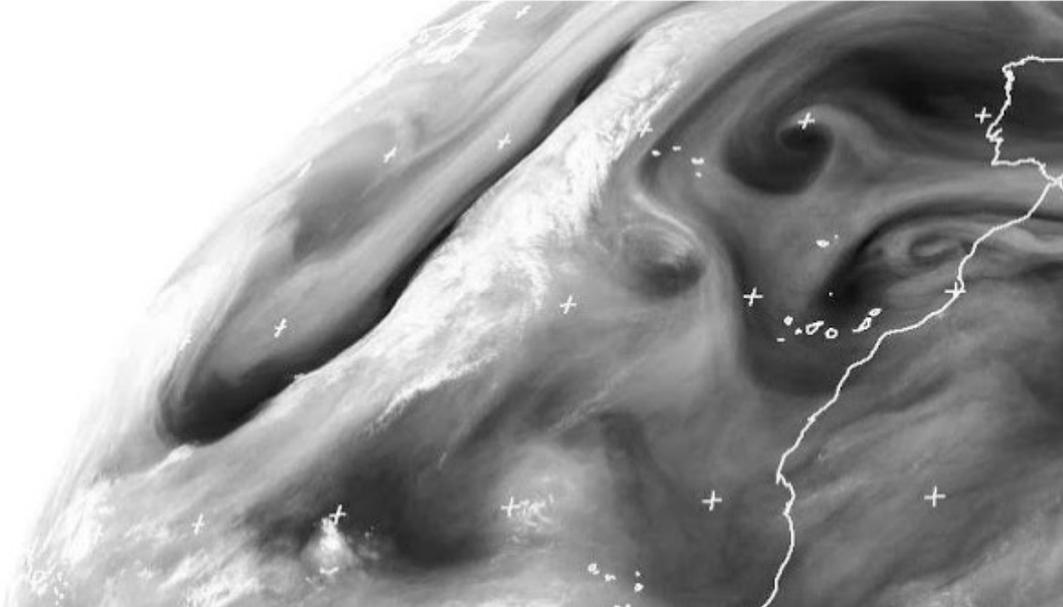
A diferencia del proceso típico de formación de estas estructuras, que suele estar unido a la presencia de ondas del este circulando en latitudes más meridionales, en este caso, Ophelia se desarrolló tras el núcleo de una DANA. Ésta le proporciona aire frío en niveles medios-altos que alimenta y mantiene una potente actividad convectiva y una casi total ausencia de cizalladura. En esta situación esa potente convección da lugar a descensos de presión en superficie que, si se mantienen en el tiempo, originan una débil circulación ciclónica que pasa a ser depresión y luego, como en este caso, evoluciona a tormenta tropical y a huracán.²⁹

La evolución de este tipo de situaciones puede ser básicamente de dos tipos, ligados a su vez a la evolución de la propia DANA: o bien acaban desapareciendo en pleno océano por debilitamiento de la convección ligada al debilitamiento de su DANA madre, o bien la siguen en su desplazamiento en el caso de que sea captada por alguna circulación del chorro polar o subtropical.

En el caso de Ophelia, una vaguada algo más profunda del chorro polar arrastró a la DANA en su zona delantera, al tiempo que la debilita y la hace desaparecer englobada en su propia circulación.

Para profundizar un poco en el origen de Ophelia, si se examinan las imágenes de satélite del canal de absorción de vapor de agua de Meteosat desde el día 6, indican que no proviene del estrangulamiento de una vaguada del chorro polar, sino más bien de la formación de una onda en el seno de un chorro -o al menos una corriente- subtropical que arranca prácticamente desde el ecuador. Dicha onda se cerró muy pronto y originó esa DANA en cuyo seno se inicia la marcada convección que acabo dando el nacimiento al huracán Ophelia.²⁹

Imagen del proceso de desarrollo del huracán Ophelia



Fuente: <http://eneltiempo-angelrivera.blogspot.com.es/> (Las tres siguientes imágenes)

Imagen del proceso de desarrollo del huracán Ophelia

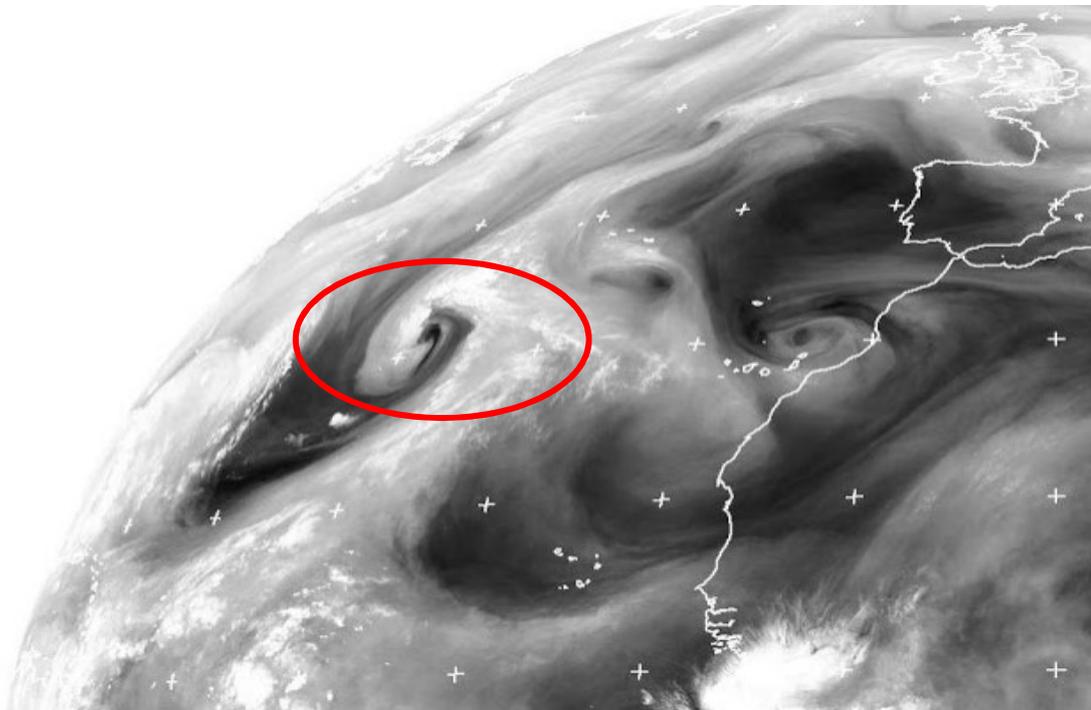
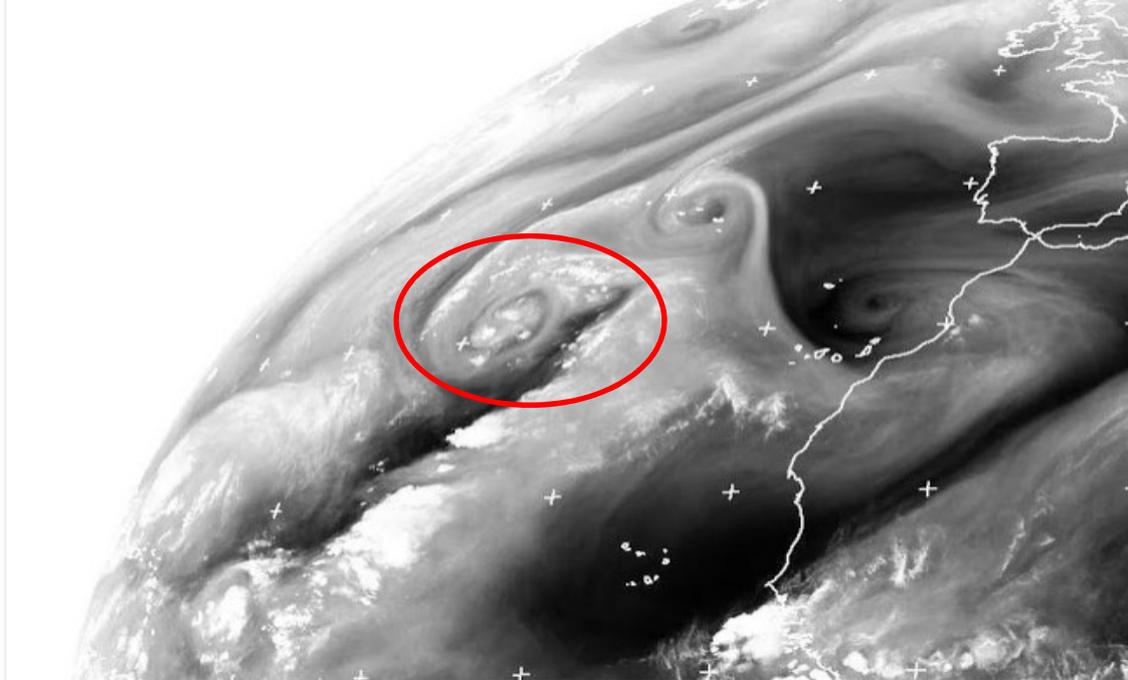
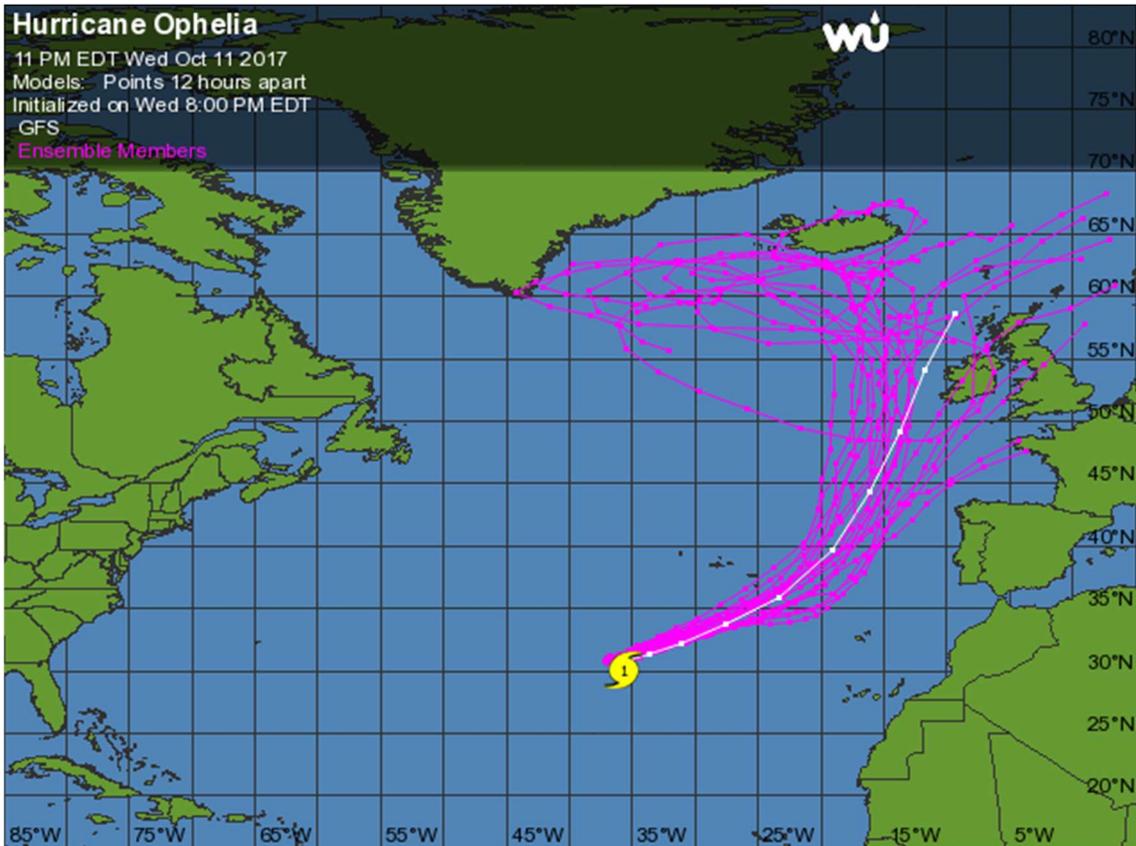


Imagen del proceso de desarrollo del huracán Ophelia



Los huracanes que acostumbramos a ver al otro lado del Atlántico, como por ejemplo Harvey o Irma, parten de una zona de bajas presiones que se intensifica y sobrevive por el calor que consumen las enormes nubes de tormenta. En este proceso la cizalladura o “cortante” lleva la batuta. Si es excesiva, la cadena se rompe y el ciclón se desvanece. En Ophelia el motor no es únicamente el calor, también se apoya en un núcleo de aire frío en altura que, en contraste con el océano cálido, pone en marcha el desarrollo de los cumulonimbos. El aspecto es calcado, pero el funcionamiento interno es diferente, y esto es lo que permite que sobreviva en latitudes tan septentrionales.²⁹

Imagen del recorrido del huracán Ophelia



Fuente: https://www.google.es/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=mapa+de+trayectoria+huracan+ophelia&og=mapa+de+trayectoria+huracan+ophelia&gs_l=psyab.3...16004.24601.0.24680.45.37.4.0.0.0.269.4452.2j21j4.27.0...0...1.1.64.psyab..14.26.3903...0i0i67k1j0i10k1j0i8i30k1j0i24k1j0i13k1j0i8i13i30k1.0.5RQqDgsTEO8#imgrc=9iOiu6faH2XSM

Por tanto y resumiendo, el desarrollo del sistema se puede organizar de la siguiente manera:

1. Un pequeño sistema de bajas presiones tuvo que quedar aislado en las aguas del Atlántico Norte Central.
2. La atmósfera se tornó favorable, así como las temperaturas del agua en esa zona para que este sistema de bajas presiones no-tropical realizara una transición tropical para dar lugar a Ophelia.

3. Mientras Ophelia transitaba sobre un área reducida al suroeste de las Azores, tuvo que empezar a formarse una vaguada.
4. La vaguada tuvo que alcanzar la amplitud adecuada para empezar a “empujar” a Ophelia hacia el noreste.
5. Ophelia “sacó tajada” de que las temperaturas de las aguas superficiales oceánicas presenten anomalías positivas de más de 2°C. Mientras que en la alta troposfera las anomalías eran negativas, habiendo más frío de lo normal.
6. Finalmente, la coincidencia de este cúmulo de casualidades, se formó el ciclón tropical más intenso desde que se tienen registros tan al este en el Atlántico Norte.

10.2 EFECTOS SOBRE LAS ISLAS BRITÁNICAS

Ophelia llegó el día 16 de octubre como una poderosa borrasca extratropical, dejó el temporal más intenso de los últimos 50 años en terreno irlandés. Se anularon las clases, la asistencia al trabajo e incluso la actividad en los quirófanos de los hospitales. Todo el país permaneció en vilo ante los achaques del ex-huracán. A pesar de las extraordinarias medidas de prevención, la tormenta ha dejado al menos tres víctimas. El observatorio de Fastnet Rock, ubicado a unos 6,5 kilómetros al suroeste de la ciudad de Cork, registró una racha de viento máxima de 191km/h, el de Roches Point de 156km/h y en Sherkin Island las ráfagas llegaron a 135km/h. Se calcula que al menos 245.000 personas permanecen sin corriente eléctrica. Las reparaciones tendrán un coste de decenas de millones de euros ³¹

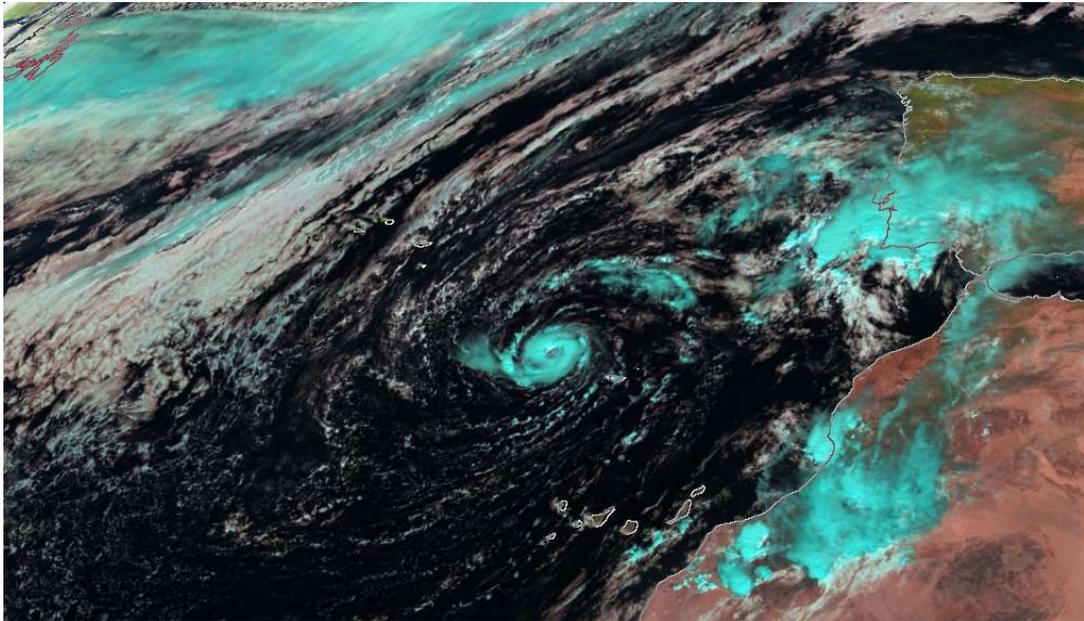


Fuente: <https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/con-ophelia-los-arboles-volaban-como-proyectiles-en-irlanda.html>

10.3 SITUACIONES SIMILARES

Ophelia no es única en su especie. En 2005 ya tuvimos un par de sistemas con un funcionamiento similar en los alrededores de nuestro país. Entre los días 8 y 11 de octubre de ese año, el Atlántico dio lugar a Vince. Un huracán que llegó a alcanzar la categoría 1, con vientos sostenidos de 120km/h según el CNH.

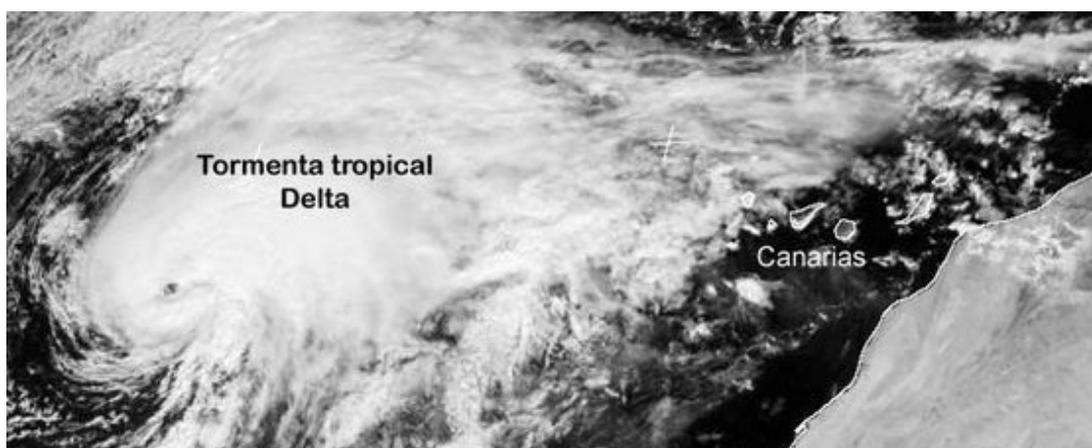
Vince se desarrolló a partir de una Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA) que se descolgó del chorro polar y acabó anclada entre Azores, Canarias y la Península. Este núcleo gélido, ubicado en las capas medias de la troposfera, se topó con una superficie del océano relativamente cálida, con registros del orden de 23°C. El contraste disparó la convección y los cumulonimbos brotaron como setas.³²



Fuente: https://www.google.es/search?q=huracan+vince&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwid9MPei8bXAhWMqaQKHfPiDgsQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=PSrwXUniDSKlTM

Después de Vince llegó Delta, una tormenta tropical que dejó numerosos desperfectos, un fallecido en el archipiélago canario y otros seis de entre un grupo de inmigrantes que se embarcaron en un desafortunado viaje en patera.³²

Imagen de la TT Delta al W de las Islas Canarias



Fuente: https://www.google.es/search?q=huracan+delta&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiGzNuljMbXAhUJoKQKHQ7OCcMQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=RG3PnZ2NQ3tUBM

11. BIBLIOGRAFÍA/WEBGRAFÍA

A parte de todos los puntos que a continuación expongo de manera enumerada me he apoyado en algunos libros de formato digital en los cuales he corroborado y ampliado información al respecto del tema de este trabajo.

A continuación, expondré los libros, que bajo mi punto de vista, son mas interesantes y sirven de ejemplo para la simplicidad y desarrollo de este trabajo.

- Meteorología y oceanografía, Ramón Fisure Lanza, Vitoria- Gasteiz (2009).
- Meteorología y Climatología, UNIDAD DIDÁCTICA, Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004. Edita: FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología)

1. <http://wiki.lamarencalma.com/index.php?title=METEOROLOG%C3%8DA>
2. <http://aulanautica.org/unidad/9-meteorologia/>
3. [Wikipedia \(en general \)](#)
4. https://www.google.es/search?q=escala+saffir+simpson&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjB8vG0zN7WAhXJfxoKHXR5B5IQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=5mWIPAtdcYE4hM:
5. <http://wiki.lamarencalma.com/index.php?title=METEOROLOG%C3%8DA>
6. [Propiedad del autor](#)
7. <http://blogs.hoy.es/meteobadajoz/modelos/#.WcPaZMjyIV>
8. <https://www.tiempo.com/modelos/es-espana-gfs-17-geop+500+v30-3.htm>
9. <http://elmeteorus.blogspot.com.es/2013/07/termodinamica-de-una-tormenta-2parte.html>
10. <https://www.tiempo.com/ram/800/curso-sobre-interpretacin-de-mapas-meteorologicos-el-cape-convective-available-potencial-energy/>
11. <https://aemetblog.es/2016/09/07/las-galernas/>
12. https://www.google.es/search?q=formacion+de+una+galerna&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiD_K-

- [5j2.7.0...0...1.1.64.psy-ab..20.3.811...0j0i13k1j0i67k1j0i7i30k1.0.pB3C-Q3gRyY#imgrc=9yzv9lpo_f5uTM:](https://www.muyinteresante.es/innovacion/articulo/el-deshielo-del-artico-abre-dos-rutas-de-navegacion)
24. <https://www.muyinteresante.es/innovacion/articulo/el-deshielo-del-artico-abre-dos-rutas-de-navegacion>
 25. <http://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2017/08/26/59a070b3268e3ea1038b4788.html>
 26. https://elpais.com/elpais/2016/09/06/ciencia/1473156612_534482.html
 27. https://elpais.com/elpais/2017/05/10/media/1494430962_123234.html
 28. <https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/-puede-europa-ver-incrementada-la-llegada-de-post-huracanes-mayores-.html>
 29. <http://eneltiempo-angelrivera.blogspot.com.es/>
 30. https://www.google.es/search?biw=1366&bih=662&tbm=isch&sa=1&q=mapa+de+trayectoria+huracan+ophelia&oq=mapa+de+trayectoria+huracan+ophelia&gs_l=psy-ab.3...16004.24601.0.24680.45.37.4.0.0.0.269.4452.2j21j4.27.0...0...1.1.64.psY-ab..14.26.3903...0j0i67k1j0i10k1j0i8i30k1j0i24k1j0i13k1j0i8i13i30k1.0.5RQQdGsTEO8#imgrc=9lOiu6rfaH2XSM
 31. <https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/con-ophelia-los-arboles-volaban-como-proyectiles-en-irlanda.html>
 32. <https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/el-huracan-ophelia-se-acerca-como-nunca-.html>
 33. https://www.google.es/search?q=huracan+vince&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjD9Mpei8bXAhWMqaQKHfPjDgsQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=PSrwxUniDSKItM:
 34. https://www.google.es/search?q=huracan+delta&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiGzNuljMbXAhUJoKQKHQ7OCcMQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=RG3PnZ2NQ3tUBM:

12. CONCLUSIONES

Este apartado de conclusiones hemos querido diferenciarlo desde el punto de vista de la meteorología y por otro lado de la climatología.

Después de realizar el estudio de los diferentes modelos meteorológicos, una previa base de conceptos meteorológicos y saber predecir una situación meteorológica, creemos que la meteorología es una ciencia muy importante en nuestra profesión para obtener una travesía segura, óptima y sostenible.

Los buques que navegan en las regiones ártica y antártica están expuestos a cierto número de riesgos particulares. Las malas condiciones meteorológicas y la relativa falta de buenas cartas de navegación, de sistemas de comunicación y de otras ayudas a la navegación plantean dificultades a los navegantes. La lejanía de las zonas polares hace que las operaciones de salvamento o de limpieza resulten difíciles y caras.

Creemos que el deshielo del Ártico es un hecho a tener en cuenta, desde el punto de vista de su explotación tanto de combustibles fósiles como de turismo.

En la actualidad existen normas rigurosas con el cuidado medioambiental debido a que hablamos de una zona vulnerable a cualquier cambio que se produzca.

Por tanto, su explotación debe tener un estricto cuidado y restringir el acceso a dichas zonas mediante una fuerte legislación medioambiental.

Ante el aumento del tráfico de buques que navegan en aguas polares, la OMI ha decidido introducir nuevas reglas que garanticen la protección del medio ambiente polar y la seguridad de la gente de mar y de los pasajeros. El Código polar, obligatorio para los buques que naveguen en aguas árticas y antárticas, entra en vigor el 1 de enero de 2017.

Por otro lado, el huracán Ophelia, aunque parezca un simple huracán de categoría tres, desde nuestro punto de vista, pasará a la historia. Su llegada a las Islas Británicas tan al Este como nunca ningún huracán había llegado, fue causado por dos grandes “ingredientes”.

El primero es el cambio climático, con temperaturas del agua de mar más altas de lo normal en dicha zona con anomalías positivas de hasta +2°C.

El segundo motivo podemos adjudicarlo al azar de las circunstancias meteorológicas que tuvo Ophelia en las zonas de su trayectoria

Ambas crearon a un huracán que pasará a la historia debido a su potencial de destrucción y a las zonas poco habituales a las cuales llegó por primera vez un huracán.

Para finalizar, añadir que, en la realización de este trabajo, he aprendido que el mundo marítimo está muy relacionado al propio título de este trabajo, debido a que dichos conflictos, tanto meteorológicos como climatológicos, son por los intereses propios de cada una de las partes y no en un bien común, que es nuestro planeta tierra.

