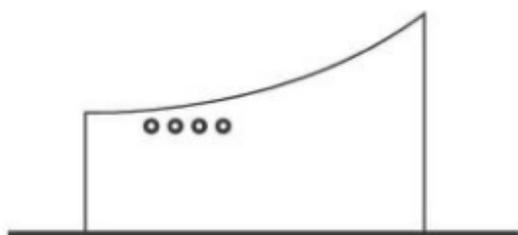
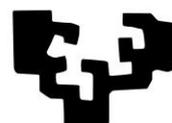


Universidad del País Vasco

Escuela de Ingeniería de Bilbao



eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

GRADO EN NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO

Trabajo fin de Grado

Presentado por:

CARLOS DOUSSINAGUE ORTIZ

Junio de 2017 en la mar

TÍTULO

ANÁLISIS DE PRODUCTOS DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA DISPONIBLES EN INTERNET VÁLIDOS PARA LA NAVEGACIÓN MARÍTIMA

Tutor:

JOSÉ IGNACIO URIARTE ARETXABALA

.....DPTO. CIENCIA Y TÉCNICAS DE LA NAVEGACIÓN, CONSTRUCCIÓN Y MÁQUINAS NAVALES

RESUMEN

Ya lo dicen muchos autores, y es que un buen marino ha de tener tres amores: el barco, la mar y el cielo. Desde las técnicas de predicción de la meteorología utilizadas por las antiguas civilizaciones hasta las modernas técnicas basadas en cálculos numéricos que pretenden ayudar a entender el comportamiento de la atmósfera y su interacción con el planeta Tierra, el estado de la mar y de la atmósfera es de indiscutible importancia para el marino. Y es que afortunadamente, aún hay ciertas materias que escapan al control del ser humano. Este trabajo pretende recoger y explicar varias de las mejores webs de consulta meteorológica de utilidad práctica para el marino, además de resumir la base de la realización de dichas predicciones por meteorólogos expertos, a partir de los datos numéricos en bruto de potentes programas de cálculo. Por ello, tras un breve resumen de la historia de la meteorología, también se hace mención de los principales modelos numéricos de predicción atmosférica a nivel mundial, de forma que el marino pueda ser más objetivo durante la realización de una consulta con motivo de la navegación.

Palabras clave *modelo numérico, predicción meteorológica, producto meteorológico, navegación marítima*

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	III
TABLA DE CONTENIDOS.....	V
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABLAS	X
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XI
1. ANTECEDENTES.....	15
2. OBJETIVO	22
3. LA PREDICCIÓN METEOROLÓGICA NUMÉRICA.....	25
3.1 LAS ETAPAS DEL PROCESO.....	29
3.1.1 Inicialización.....	29
3.1.2 Computación	31
3.1.3 Parametrización.....	32
3.2 LAS APLICACIONES: LOS MODELOS ATMOSFÉRICOS/OCEÁNICOS	32
3.2.1 Global Forecast System.....	33
3.2.2 Navy Operational Global Atmospheric Prediction System.....	34
3.2.3 Los modelos ARPEGE, AROME y ALADIN	35
3.2.4 Integrated Forecast System.....	37
3.2.5 Modelo Global Environmental Multiscale	38
3.2.6 Unified Model.....	39
3.2.7 Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System.....	40
3.2.8 WaveWatch III.....	42
4. WEBS DE DATOS METEOROLÓGICOS EN BRUTO.....	43
4.1 Web de la FNMOC.....	44

4.1.1	Información general.....	44
4.1.2	Productos meteorológicos y oceanográficos.....	45
4.1.3	Aplicaciones Tropicales.....	49
4.1.4	Climatología y datos archivados.....	49
4.2	WEB DE LA ECMWF.....	49
4.2.1	Información general.....	49
4.2.2	Los productos.....	51
4.2.3	Pronósticos a medio plazo o <i>Medium Range</i>	52
4.2.4	Pronósticos de rango extendido.....	52
4.2.5	Pronósticos de largo plazo.....	53
4.2.6	La sección <i>Charts</i> (Pronósticos a medio plazo).....	53
4.2.7	La sección <i>Datasets</i>	57
5.	WEBS DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA TRATADA	58
5.1	WEB DEL OPC.....	59
5.1.1	Información general.....	59
5.1.2	Los productos.....	60
5.1.3	Sección <i>Marine Weather</i>	62
5.1.4	Sección <i>Ocean Products</i>	73
5.2	WEB DE LA MET OFFICE.....	76
5.2.1	Información general.....	76
5.2.2	Productos.....	76
5.2.3	Mapas sinópticos.....	77
5.2.4	Sección <i>Extended outlook</i>	77
5.2.5	Sección <i>High seas and storms</i>	78
5.2.6	Sección <i>Inshore waters and strong winds</i>	79
5.2.7	Sección <i>Latest marine observations</i>	79
5.2.8	Sección <i>Shipping forecast</i>	80
5.3	WEB DE MÉTEO FRANCE	80
5.3.1	Información general.....	80
5.3.2	Productos.....	82
5.3.3	Prévisions côtières.....	82
5.3.4	Prévisions sécurité expertisées.....	83
5.3.5	Cartes de fronts.....	84
5.3.6	Cartes de prévisions.....	84

5.3.7	Animation Satellite.....	85
5.3.8	Simulations numériques météorologiques.....	85
5.4	WEB DE AEMET	86
5.4.1	Información general.....	86
5.4.2	Productos.....	86
5.4.3	Mapas con frentes.....	87
5.4.4	Servicio de predicción marítima.....	87
5.4.5	Servicio meteorológico para la navegación marítima MeteoNav.....	89
5.4.6	Los modelos numéricos	90
5.4.7	Imágenes de satélite	91
5.4.8	Puertos del Estado	94
5.5	WEB DEL SERVICIO METEOROLÓGICO DE LA ARMADA DE CHILE.....	95
5.5.1	Productos.....	95
5.5.2	Pronósticos.....	95
5.5.3	Cartas de Superficie.....	98
5.5.4	Límites de Hielo.....	99
5.5.5	Cartas de Pronóstico de Superficie.....	99
5.5.6	Cartas Pronosticadas de Viento y de Olas.....	100
5.5.7	Imágenes Satelitales	100
5.5.8	Nuevos Productos.....	101
6.	VALORACIÓN DE DATOS	102
7.	CONCLUSIONES.....	107
8.	LÍNEAS FUTURAS.....	112
9.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y OTRAS WEBS DE INTERÉS.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Sistemas modernos de adquisición de datos meteorológicos. (https://www.tethys.cat)	27
Figura 3.2: 1) Radiación solar entrante; 2) Dispersión por aerosoles y moléculas; 3) Absorción por la atmósfera; 4) Reflexión / absorción por las nubes; 5) Emisión de radiación de onda larga desde la superficie de la Tierra; 6) Condensación; 7) Turbulencia; 8) Reflexión / absorción en la superficie de la Tierra; 9) Nieve; 10) Agua del suelo / derretimiento de la nieve; 11) Cobertura de nieve / hielo / agua; 12) Topografía; 13) Evaporación; 14) Vegetación; 15) Propiedades del suelo; 16) Lluvia (refrigeración); 17) Rugosidad superficial; 18) Flujo de calor sensible; 19) Convección profunda (calentamiento); 20) Emisión de radiación de onda larga de las nubes. (http://www.comet.ucar.edu/)	28
Figura 3.3: Los modelos atmosféricos calculan los vientos, la transferencia de calor, la humedad relativa y la hidrología en superficie para cada elemento de los que componen la malla y evalúan la interacción entre los nodos que unen los diferentes elementos. (https://en.wikipedia.org)	30
Figura 3.4: Regiones de cobertura del modelo WW3 . (http://polar.ncep.noaa.gov/waves/index2.shtml).....	42
Figura 4.1: Zonas de cobertura de la web. (https://www.fnmoc.navy.mil/wxmap_cgi/index.html)	46
Figura 4.2: Los discos de colores de la tabla indican la antigüedad de las imágenes. (https://www.fnmoc.navy.mil/wxmap_cgi/index.html).....	48
Figura 4.3: El panel de animación permite múltiples opciones de visualización de los productos gráficos. (https://www.fnmoc.navy.mil/wxmap_cgi/index.html)	48
Figura 4.4: Portada de la web y acceso a la sección Forecasts. (http://www.ecmwf.int/)	51
Figura 5.1: Página principal de la web. (http://www.opc.ncep.noaa.gov/index.php)	61

Figura 5.2: Ejemplo del mapa completo de Unified Analysis. (http://www.opc.ncep.noaa.gov/index.php)	63
Figura 5.3: Ejemplo de pie de foto	73
Figura 5.4: El modelo NGOM asimila las mediciones satelitales de temperatura y elevación de la superficie del mar para producir pronósticos de temperatura, salinidad, elevación y corrientes apoyadas por las operaciones de la Marina.....	75
Figura 5.5: Zonas costeras del Reino Unido y ejemplo de aviso de brisas costeras para la zona de Great Ormes Head a Mull of Galloway y la Isla de Man	79
Figura 5.6: Leyenda de símbolos para los sistemas frontales y las perturbaciones tropicales empleados en los mapas de Météo-France. ...	84
Figura 5.7: Leyenda de símbolos para el viento empleados en los mapas de Météo-France.....	84
Figura 5.8: Leyenda de símbolos de viento y ola empleados en el servicio MeteoNav	90
Figura 5.9: Sección de productos disponibles en la página principal. (http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/edic/base/port/inicio.html)	95
Figura 6.1: Ejemplo de comparativa de las previsiones a 500hPa de cinco modelos por medio del índice RSME . (https://www.tiempo.com/)	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 9.1: Productos meteorológicos disponibles en la web del FNMOC.....47

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
AROME	<i>Application de la Recherche à l'Opérationnel à Méso-Échelle</i>
ARPÈGE	<i>Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle</i>
BOM	<i>Australian Government Bureau of Meteorology</i>
CEPPM	<i>Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio</i>
CMC	<i>Canadian Meteorological Centre</i>
COAMPS	<i>Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System</i>
CPTEC	<i>Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos</i>
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
EFS	<i>Ensemble Forecast System</i>
ENS	<i>Ensemble</i>
ENSO	<i>El Niño Southern Oscillation</i>
EPS	<i>Ensemble Prediction System</i>
FNMOC	<i>Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center</i>
GDPFS	<i>Global Data-processing and Forecasting Systems</i>
GEFS	<i>Global Ensemble Forecast System</i>
GEM	<i>Global Environmental Multiscale Model</i>
GFE	<i>Graphic Forecast Editor</i>

GFS	<i>Global Forecast System</i>
GODAE	<i>Global Ocean Data Assimilation Experiment</i>
HIRLAM	<i>High Resolution Limited Area Model</i>
HRES	<i>High Resolution Forecast</i>
HYCOM	<i>HYbrid Coordinates Ocean Model</i>
IFS	<i>Integrated Forecast System</i>
INM	<i>Instituto Nacional de Meteorología</i>
JMA	<i>Japanese Meteorological Agency</i>
MCA	<i>Maritime Coastguard Agency</i>
MOS	<i>Model Output Statistics</i>
MRB	<i>Meteorological Research Branch</i>
MRF	<i>Medium Range Forecast</i>
MSLP	<i>Mean Surface Level Pressure</i>
NAEFS	<i>North American Ensemble Forecast System</i>
NAVO	<i>Naval Oceanographic Office</i>
NAVTEX	<i>Navigation Telex Radio</i>
NCDC	<i>National Climate Data Center</i>
NCEI	<i>National Centers for Environmental Information</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NCOM	<i>Navy Coastal Ocean Model</i>

NGOM	<i>Navy Global Ocean Model</i>
NHC	<i>National Hurricane Center</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NOGAPS	<i>Navy Operational Global Atmospheric Prediction System</i>
NOMADS	<i>National Operational Model Archive and Distribution System</i>
NOO	<i>Naval Oceanographic Office</i>
NOOP	<i>Naval Oceanographic Office Products</i>
NWP	<i>Numerical Weather Prediction</i>
OMM	<i>Organización Meteorológica Mundial</i>
OPC	<i>Ocean Prediction Center</i>
OPPE	<i>Organismo Público Puertos del Estado</i>
PEARP	<i>Prévision d'Ensemble ARPege</i>
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
RPN	<i>Recherche en Prévision Numérique</i>
RTOFS	<i>Global Real-Time Ocean Forecast System</i>
SAPO	<i>Sistema de Predicción Local de Oleaje</i>
SOLAS	<i>Safety of Life at Sea</i>
SSH	<i>Sea Surface Heat</i>
SST	<i>Sea Surface Temperature</i>
UKMET	<i>United Kingdom Meteorological Office</i>

UM	<i>Unified Model</i>
USCG	<i>United States Coast Guard</i>
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i>
VOBRA	<i>High Frequency Voice Broadcast for Offshore Waters</i>
VT	<i>Valid Time</i>
WW3	<i>WaveWatch III</i>
WWW	<i>World Weather Watch Programme</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

1. ANTECEDENTES

Animales perezosos, tiempo tormentoso

La meteorología, como ciencia, es relativamente joven si se la compara con las matemáticas y la astronomía, pero como parte de los intereses del ser humano se remonta a tiempos inmemoriales.

La forma de vida en la antigüedad, recolectora y cazadora en los inicios, agricultora y comerciante posteriormente, ya dependía de los caprichos del tiempo y de los elementos. De esta forma, el ser humano fue desarrollando poco a poco una sensibilidad casi intuitiva para las condiciones atmosféricas. A día de hoy, el hombre moderno, el hombre urbano, se ha tomado el capricho de prescindir de esa intuición para intentar buscar las respuestas cambiando de método, y ha dejado el análisis meteorológico en manos de la ciencia. Separados de la naturaleza y caídos en el olvido, en la actualidad solo podemos observar y admirar el comportamiento de ciertos animales frente a fenómenos meteorológicos que solo la ciencia es capaz de predecirnos.

La antigua sabiduría sobre cuestiones de la naturaleza y concerniente a la regularidad de los ciclos celestes, base de los primeros calendarios, incluía los cambios cíclicos en la Tierra y llegó a correlacionarse con el estudio de los fenómenos naturales¹.

Pero el conocimiento de las fluctuaciones del tiempo más a corto plazo, así como periodos extemporáneos de frío, calor, lluvia o sequía se hizo necesario. Uno de los primeros avances de la meteorología fue comprender que ciertos tipos de tiempo solían seguir a la aparición de determinados fenómenos². De esta forma, del conjunto de presagios, proverbios y dichos populares se fueron extrayendo gradualmente una serie de signos que se consideraban indicativos de acontecimientos futuros: algunos basados en la mitología y superstición, otros resumían conceptos sobre el clima fundamentado en cui-

¹ Por ejemplo, en la antigua Mesopotamia el ciclo estacional estaba definido por observaciones astronómicas y meteorológicas. De igual forma, en Egipto, donde la prosperidad material ha dependido siempre de las crecidas y bajadas del Nilo, la aparición periódica de estrellas en determinadas constelaciones, como el nacimiento de Sirius o la Canícula, indicaba las fases cíclicas de inundación y sequía.

² Este primer indicio de meteorología parece haberse desarrollado de manera independiente en diversas partes del mundo antiguo como en los valles del Eúfrates y el Tigris, el valle del Nilo, del Indo, del río Amarillo y en las costas Mediterráneas.

dadas observaciones del fenómeno natural (aspecto del cielo, vientos, acontecimientos como la migración de aves o la foliación de los árboles y el movimiento planetario entre otros).

En el momento del surgimiento de la antigua civilización griega, el conocimiento del tiempo era una curiosa mezcla de mitología y astrología junto con una considerable dosis de conocimiento empírico basado en observaciones correctas de los fenómenos naturales. Sus primeros poemas, como *La Odisea* y *La Iliada*, que datan del siglo IX A.C., todavía evidenciaban residuos de la actitud primitiva (Zeus estaría a cargo los vientos y Poseidón de la mar), pero gradualmente se empezó a abordar el tema de forma más racional, primando la observación práctica.

En tiempos de *Aristóteles*, ya había arraigado con fuerza una aproximación científica a la meteorología. En su tratado *Meteorológica* se discutían objetivamente la mayoría de los elementos meteorológicos. Sin embargo, en aquel entonces igual que hoy, la gente estaba más interesada en conocer el tiempo que iba a hacer, que en entender el cómo y el por qué.

La decadencia y caída del Imperio Romano después del año 400 no ofrecía un clima propicio para el conocimiento. Aunque el estudio de la meteorología en Europa nunca cesó del todo, durante los primeros siglos de la era cristiana no apareció ninguna idea nueva. Hasta después de la muerte de *Mahoma* (632 D.C.), el conocimiento grecorromano, persa e indio se recopiló, fusionó y enriqueció gracias al trabajo de filósofos y científicos musulmanes, los cuales hicieron del Islam el centro de la civilización entre los siglos VIII y IX. El enfoque que los árabes le dieron a la meteorología, basado en observaciones astronómicas, fomentó la creencia tradicional de que el tiempo podía predecirse mediante el estudio del movimiento de los cuerpos celestes³. Los eruditos medievales la consideraban verdad indiscutible, completa e infalible: llegó a incorporarse en la doctrina de la Iglesia romana. Esto originó un absoluto bloqueo a todo progreso posterior en meteorología.

³ Al margen de algunas ideas disidentes propuestas por individuos como *Roger Bacon* (1214-1294), que defendía el enfoque experimental de la ciencia basado en observaciones reales del fenómeno natural, prevalecía la teoría aristotélica.

La revolución científica, uno de cuyos precursores fue *Leonardo Da Vinci*, liberó a la ciencia de sus represiones medievales. Se inauguró en 1543 con la publicación de la teoría heliocéntrica del sistema solar de *Nicolás Copérnico*. Poco a poco comenzó a cuestionarse el concepto de la predicción del tiempo basada en el movimiento de los cuerpos celestes y se fue aceptando que el ciclo anual de las estaciones era controlado por el movimiento de la tierra alrededor del sol. Los nuevos instrumentos meteorológicos⁴, que parecían un excelente medio para predecir el tiempo según los postulados del método científico defendidos en los años 1620 y 1630 por una nueva clase de filósofos (como *Francis Bacon* y *René Descartes*), despertaron extraordinario interés.

La gente se daba cuenta de que el valor de las observaciones meteorológicas se incrementaría bastante si fuese posible comparar resultados simultáneos realizados en distintas partes del mundo⁵. El primer intento de establecer una red internacional de estaciones de observación meteorológica tuvo lugar en 1653 bajo el patrocinio del gran duque *Fernando II de Toscana*, fundador de la Academia del Cimento cuatro años después.

Además de las redes de estaciones en el siglo XVIII hubo un gran número de individuos que realizaban y registraban sus propias observaciones. Otra valiosa fuente de datos meteorológicos históricos de los siglos XVII y XVIII procede de los diarios de navegación.

La ciencia del tiempo náutico, basada en el comportamiento de la mar, los vientos y el estado del cielo ha sido transmitida por una serie innumerable de marineros desconocidos desde la primera utilización de velas en las embarcaciones de altura⁶. Puesto que estaban en juego las vidas humanas, constituye una rama del conocimiento empírico bastante fiable.

⁴ Las observaciones meteorológicas instrumentales comenzaron en el siglo XVII cuando, en el año 1600, *Galileo Galilei* inventó el termómetro y su discípulo *Evangelista Torricelli*, hizo lo propio con el barómetro en 1643.

⁵ Las primeras observaciones en equipo de las que hay registro se llevaron a cabo en París y Clermont, en Francia, así como en Estocolmo, en Suecia entre 1649 y 1651.

⁶ En *Trabajos y Días*, escrito por *Hesíodo* en el año 800 A.C. ya se daba 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. Durante los siglos XV y XVI la búsqueda de rutas marinas a la India 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.

Los meteorólogos del período 1830-1840 no se sentían satisfechos, porque seguían sin ser capaces de pronosticar el tiempo con un día o menos de adelanto. Seguía sin haber medios para reunir las observaciones con rapidez como para poder producir un cuadro sinóptico de la situación meteorológica en un momento determinado y analizarlo después⁷. Pero fue gracias a un importante avance tecnológico que se potenciarían esos adelantos teóricos. En 1832, *Samuel Morse* concibió la idea del telégrafo y hacia 1840 había hecho posible su utilización como sistema aprovechable para comunicaciones rápidas. Fue desde entonces que se hicieron rápidos progresos en el campo del pronóstico meteorológico, estableciéndose redes de transmisión de datos.

A mediados del siglo XIX, toda la información recopilada de las estaciones de observación meteorológica ya se exhibía en mapas y se tabulaban los informes diarios en diferentes países de América y Europa⁸.

Durante la última parte de la primera guerra mundial, *Bjerkness* fundó el Instituto Geofísico de Bergen, en Noruega, con el principal objetivo de mejorar el servicio de pronósticos meteorológicos de la nación. Estableció una densa red de estaciones especialmente en el sur de Noruega, utilizando "me-

⁷ *H.W. Brandes*, profesor de matemáticas y física en la Universidad de Breslau (Polonia) fue el primero en desarrollar la idea de una cartografía meteorológica sinóptica mediante la comparación de las observaciones meteorológicas realizadas simultáneamente a lo largo de una amplia zona.

⁸ La utilización de líneas para representar la presión en los mapas se les atribuye al almirante inglés *Robert Fitzroy* (1805-1865) y al francés *Urbain Jean Joseph Le Verrier* (1811-1877). Le Verrier, a diferencia de Fitzroy quien había indicado la presión mediante líneas verticales trazadas desde los paralelos de latitud, empleó isobaras.

teorología indirecta" (método basado en informes detallados de las nubes, para compensar la falta de sondeos y medidas del aire de las capas superiores). El análisis de los mapas meteorológicos sinópticos iniciado en Bergen a partir de 1918 reveló la estructura fina del tiempo, ignorada por completo por los meteorólogos del siglo XIX. *Bjerknes* y sus colegas idearon modelos sinópticos de los frentes con los cuales fue posible integrar las observaciones realizadas en áreas amplias dentro de los modelos meteorológicos completos. La identificación de un ciclo vital definido en el desarrollo de los sistemas frontales de baja presión, desde su juventud, pasando por la madurez hasta llegar a su vejez, proporcionó un medio para predecir la actividad ciclónica, lo que permite extrapolar su movimiento futuro.

Al final de la década de 1930 fue por primera vez posible la utilización de radiosondas transportadas por globos capaces de transmitir las medidas de presión, temperatura y humedad a una estación receptora en el suelo. Esto inició el establecimiento de redes de estaciones en las capas superiores del aire por todo el hemisferio durante y poco después de la segunda guerra mundial, permitiendo por primera vez la confección de mapas de los niveles superiores de todo el hemisferio norte.

Influenciado por el trabajo de *Bjerkness* y sus colaboradores, el matemático británico *L.F. Richardson* empezó en 1911 a formular un nuevo planteamiento del problema de la predicción del tiempo por métodos numéricos. *Richardson* tenía un sueño "Una fábrica de pronósticos", consistente en 64.000 computadoras humanas equipadas con mesas calculadoras, para mantenerse por delante del tiempo. Pero no era una proposición válida para la tecnología disponible en aquella época.

Hasta 1950 los pronósticos se hacían casi enteramente mediante métodos sinópticos. Se analizaba la situación meteorológica, se evaluaban los datos recibidos de los radiosondeos y posteriormente se extrapolaba la información sobre los sistemas meteorológicos para producir mapas similares para 24 horas después. Desde el punto de vista teórico, en los años 50 se había alcanzado con toda seguridad el nivel de capacidad límite en términos humanos. Se convirtió en una tarea cada vez más difícil reunir, asimilar e in-

interpretar la inmensa cantidad de datos con tiempo suficiente para avanzar al mismo paso que el tiempo.

Después de la segunda guerra mundial, con el desarrollo de las computadoras electrónicas de alta velocidad, los servicios meteorológicos dispusieron de una nueva tecnología con la que hacer aún más objetiva la medición del tiempo. A pesar de los avances tecnológicos las predicciones obtenidas por métodos numéricos a partir de los datos procesados automáticamente siguen dependiendo, en última instancia, de los pronosticadores humanos.

El lanzamiento del *Sputnik I* en 1957 desde la URSS convirtió la idea de obtener una visión global del tiempo desde el espacio en una posibilidad práctica. En 1960, USA, lanzaba el primer satélite meteorológico completamente equipado.

2. OBJETIVO

Si sales a navegar no te canse el preparar

El objetivo principal de este trabajo es intentar dar respuesta a las cuatro (4) preguntas típicas que han acompañado al navegante durante años. Las cuatro (4) preguntas a las que se pretende dar respuesta se enumeran a continuación:

1. ¿Cuál de todos es el parte meteorológico de mayor fiabilidad y precisión?
2. ¿Qué modelo numérico operativo de predicción del tiempo es el mejor?
3. ¿Hasta cuándo es fiable una predicción meteorológica?
4. ¿Cuál es la mejor forma obtener una previsión válida y segura?

Para ello se analizará una serie de productos meteorológicos disponibles en internet, fiables, de fácil acceso y adecuados para la navegación marítima de los principales mares del mundo.

En la primera parte del trabajo se explicará la recopilación y el tratamiento de datos meteorológicos mediante modelos de computación numérica más destacables, para la posterior interpretación de los resultados por los meteorólogos, como base moderna de la predicción meteorológica a nivel mundial.

La segunda parte analizará los diferentes productos meteorológicos seleccionados, empezando por las webs donde se pueden obtener productos meteorológicos en bruto (evidentemente esto requerirá un mayor nivel formativo y de experiencia del usuario al respecto) y finalizando con las webs de divulgación meteorológica en las cuales los pronósticos ya han sido interpretados y trabajados por meteorólogos antes de ser publicados.

Antes de la elaboración del análisis de productos conviene destacar que internet no forma parte del sistema de Información de Seguridad Marítima y no debería ser nunca tomado como el único medio para obtener los últimos pronósticos y avisos. El acceso al servicio, así como las actualizaciones, puede verse interrumpido o sufrir retrasos de vez en cuando, es por ello

que el recurrir a los servicios **GMDSS**, **INMARSAT SAFETYNET** o el **NAVTEX** posibilita la obtención de la última información.

El otro problema de internet es el no perderse en la masa de datos gratuitos, ya que existe una inmensa variedad con webs de información meteorológica de interés para el marino. Pero el acceso a la información de dudosa fiabilidad puede dar información errónea o poco actualizada a evitar por el navegante. Es por ello que se ha intentado seleccionar las webs de información meteorológica gráfica oficiales y que disponen de mayores recursos para la elaboración de previsiones.

3. LA PREDICCIÓN METEOROLÓGICA NUMÉRICA

Quien el tiempo se expone a predecir, se expone a mentir

Del inglés **NWP** (**Numerical Weather Prediction**), utiliza modelos matemáticos de la atmósfera y los océanos para predecir el tiempo en base a las condiciones meteorológicas del momento. A pesar de que los antecedentes puedan datarse en la década de los años veinte (gracias a los procedimientos creados por *Vilhelm Bjerknes* y puestos en práctica por el matemático británico *Lewis Fry Richardson*⁹), no fue hasta los años cincuenta, mediante la simulación numérica computerizada, cuando las predicciones numéricas produjeron resultados reales.

En este contexto, un modelo es un programa informático que produce información meteorológica correspondiente a un momento en el futuro para determinados puntos del planeta y ciertas altitudes. Utilizando los datos de las observaciones meteorológicas obtenidos a partir de radiosondas, satélites meteorológicos y otros sistemas de observación como entrada, son calculados un número de modelos de predicción globales y regionales. Los modelos matemáticos basados en los mismos principios físicos pueden ser utilizados para generar tanto predicciones meteorológicas a corto plazo¹⁰ como predicciones climáticas a mayor plazo. Éstas últimas son ampliamente utilizadas para la interpretación y la proyección del cambio climático¹¹. Las mejoras realizadas a los modelos regionales han permitido mejoras significativas en la predicción del seguimiento de ciclones tropicales y la calidad del aire, sin embargo, los modelos atmosféricos siguen estando limitados a la hora de manejar procesos que ocurren en áreas relativamente restringidas, como es el caso de los incendios forestales incontrolados.

⁹ Lynch, Peter (March 2008). "[The origins of computer weather prediction and climate modeling](#)" (PDF). *Journal of Computational Physics*. University of Miami.

¹⁰ El primer parte meteorológico operativo se le puede atribuir al grupo de *Carl-Gustv Rossby* del Instituto Meteorológico e Hidrológico Sueco, que en 1954 pusieron en marcha una predicción rutinaria de uso práctico mediante el ordenador **ENIAC** (**E**lectronic **N**umerical **I**ntegrator **A**nd **C**omputer).

¹¹ Fue en 1956 cuando *Norman Philips* desarrolló un modelo matemático que describía de forma realística los patrones mensuales y estacionales en la troposfera.

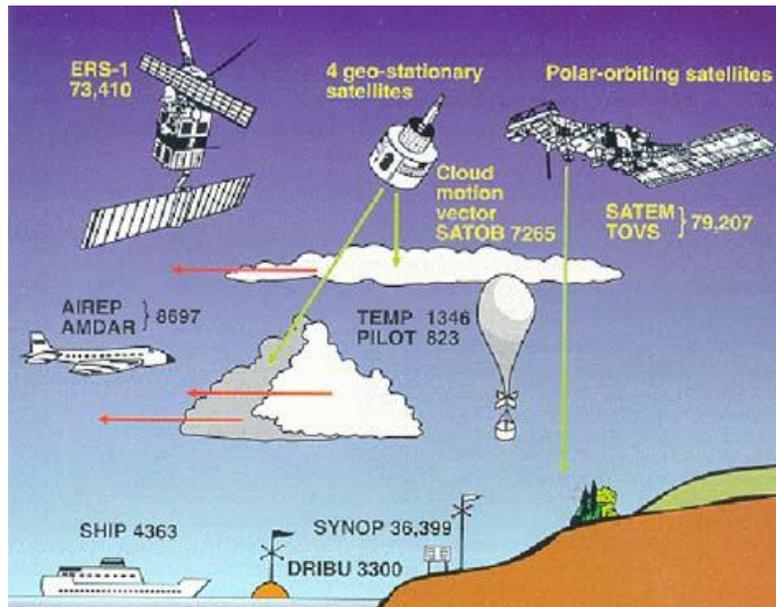


Figura 3.1: *Sistemas modernos de adquisición de datos meteorológicos.*
[\(<https://www.tethys.cat>\)](https://www.tethys.cat)

Los modelos meteorológicos utilizan sistemas de ecuaciones diferenciales basadas en las leyes de la física, la dinámica de fluidos y la química y utilizan un sistema de coordenadas tridimensionales que divide el planeta por medio de una malla 3D formada por nodos y elementos. Los vientos, la transferencia de calor, la radiación solar, la humedad relativa y la hidrología de la superficie se calculan para cada elemento de la malla, y las interacciones en los nodos entre los elementos circundantes son empleadas para calcular las propiedades atmosféricas en el futuro.

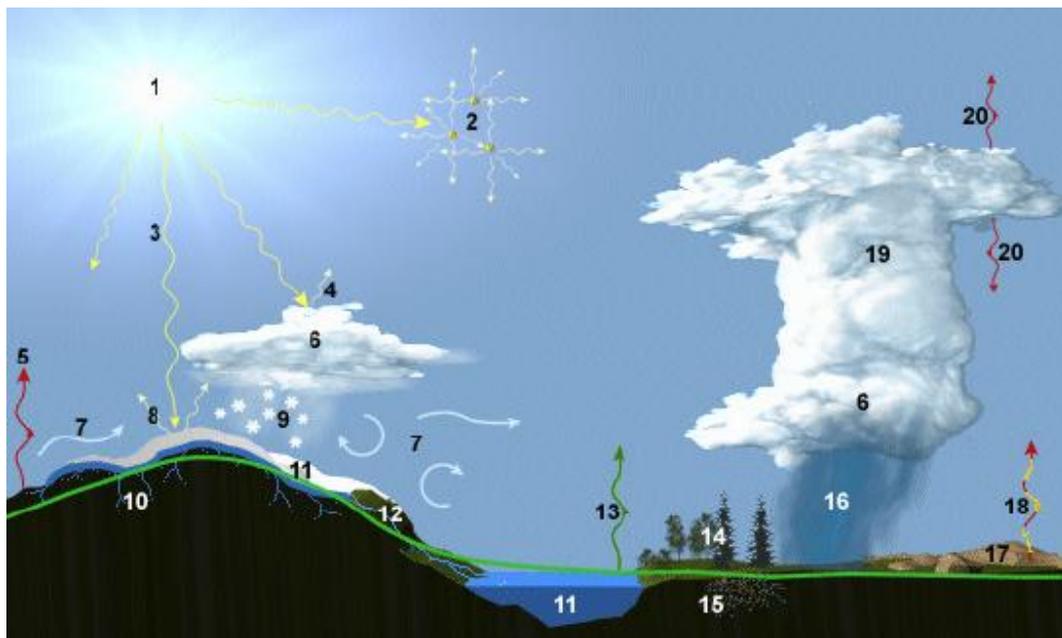


Figura 3.2: 1) Radiación solar entrante; 2) Dispersión por aerosoles y moléculas; 3) Absorción por la atmósfera; 4) Reflexión / absorción por las nubes; 5) Emisión de radiación de onda larga desde la superficie de la Tierra; 6) Condensación; 7) Turbulencia; 8) Reflexión / absorción en la superficie de la Tierra; 9) Nieve; 10) Agua del suelo / derretimiento de la nieve; 11) Cobertura de nieve / hielo / agua; 12) Topografía; 13) Evaporación; 14) Vegetación; 15) Propiedades del suelo; 16) Lluvia (refrigeración); 17) Rugosidad superficial; 18) Flujo de calor sensible; 19) Convección profunda (calentamiento); 20) Emisión de radiación de onda larga de las nubes. (<http://www.comet.ucar.edu/>)

Manipular la inmensa base de datos y realizar los complejos cálculos necesarios para la predicción numérica moderna requiere de los ordenadores más potentes del planeta. Incluso con el aumento de la potencia de los ordenadores, la capacidad de predicción de los modelos numéricos meteorológicos se extiende solo a unos seis días vista. Los factores que afectan la exactitud de las predicciones numéricas incluyen entre otros la densidad y la calidad de las observaciones utilizadas como datos de entrada en los partes, junto con las diferencias entre los mismos modelos numéricos. Para mejorar el manejo de los errores en las predicciones numéricas, se han desarrollado técnicas de post procesamiento como la del estudio de las estadísticas de los datos de salida de modelo o **MOS (Model Output Statistics)**¹².

¹² Se trata de una relación estadística desarrollada entre las décadas de los setenta y ochenta que pretende solucionar el vacío en algunos detalles a nivel de superficie que los

Debido a la naturaleza caótica de las ecuaciones de la dinámica de fluidos resulta prácticamente imposible predecir con certeza absoluta el estado de la atmósfera¹³. Además, las redes de predicción meteorológica tienen una resolución espacio-temporal limitada, especialmente sobre grandes masas de agua como es el océano Pacífico, el cual introduce incertidumbre sobre el estado atmosférico inicial.

Para tener en cuenta esta incertidumbre, se aplica la estocástica en las predicciones mediante los denominados "conjuntos" (*ensembles*)¹⁴, que tienen en cuenta múltiples pronósticos creados a partir de diferentes modelos numéricos, diferentes parámetros físicos o distintas variables iniciales. Por lo general, el pronóstico del conjunto se evalúa mediante el promedio de los miembros individuales del conjunto para una variable pronosticada y la dispersión del conjunto, que representa el grado de acuerdo entre los distintos pronósticos del sistema de predicción, que se conocen como miembros del conjunto.

Un error común es interpretar que la escasa variación entre modelos de un conjunto significa necesariamente mayor fiabilidad del mismo. Aunque a veces existe una relación entre el grado de variación y la calidad del conjunto, la confiabilidad depende fundamentalmente de factores tales como el modelo numérico y la región para la cual se realiza la previsión.

3.1 LAS ETAPAS DEL PROCESO

3.1.1 Inicialización

Las entradas principales para los servicios meteorológicos terrestres son las observaciones de superficie de las estaciones meteorológicas en tierra y las boyas meteorológicas en la mar. La **OMM** (**Organización Meteorológica**

datos de salida en bruto de los modelos basados en la dinámica de la atmósfera son incapaces de resolver.

¹³ Esto ya lo indicó *Edward Lorenz* en 1963.

¹⁴ El precursor en 1992 fue el **ECMWF** (**European Centre for Medium-Range Weather Forecasts**) que utiliza la técnica de vectores singulares junto con el **NCEP** (**National Centers for Environmental Prediction**) que utiliza la técnica de cultivo de vectores.

Mundial) tiene el compromiso de estandarizar toda la instrumentación, las prácticas de observación y la cadencia de éstas a nivel global.

Las estaciones reportan tanto cada hora (informes **METAR**) como cada seis horas (informes **SYNOP**) y los modelos son inicializados utilizando los datos de estas observaciones. Las observaciones espaciadas irregularmente se procesan por métodos de asimilación de datos y de análisis objetivo, los cuales realizan el control de calidad y obtienen valores válidos para los algoritmos matemáticos. La malla utilizada para los modelos globales es geodésica o de tipo icosaedro, dividida en latitud, longitud y altura. Después, los datos se utilizan en el modelo como punto de partida para el pronóstico.

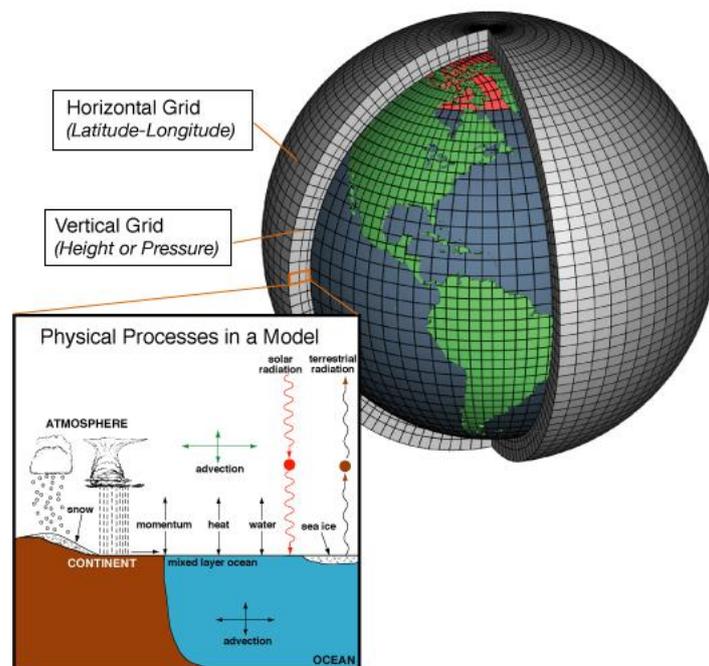


Figura 3.3: Los modelos atmosféricos calculan los vientos, la transferencia de calor, la humedad relativa y la hidrología en superficie para cada elemento de los que componen la malla y evalúan la interacción entre los nodos que unen los diferentes elementos¹⁵. (<https://en.wikipedia.org>)

Se utilizan una gran variedad de métodos para recopilar datos observables para uso en los modelos numéricos¹⁶. Se lanzan radiosondas desde

¹⁵ Imagen obtenida de la web del aniversario de los 200 años de la NOAA http://celebrating200years.noaa.gov/breakthroughs/climate_model/welcome.html

¹⁶ El hielo marino se introdujo en los modelos de predicción en 1971 y los esfuerzos por introducir la temperatura en superficie de las aguas de los océanos se iniciaron en 1972 debido a su papel fundamental en regular el tiempo en las altas latitudes del Pacífico.

múltiples lugares en el globo, las cuales se elevan hasta la troposfera y bien profundo en la estratosfera. Donde los recursos de obtención de datos tradicionales no se encuentran disponibles se utiliza la información provista por los satélites meteorológicos. El tránsito comercial provee información emitida por pilotos y marinos a lo largo de las rutas comerciales de todo el mundo. Los proyectos de investigación utilizan aviones de reconocimiento para volar en o sobre sistemas meteorológicos de interés, como ciclones tropicales. Este tipo de aviones son utilizados además para sobrevolar sistemas estacionales en alta mar que en invierno causan cierta incertidumbre en las predicciones, o de los que se espera un gran impacto en tres a siete días sobre el continente.

3.1.2 Computación

El modelo en sí, es una serie de ecuaciones denominadas ecuaciones primitivas, utilizadas para predecir el estado futuro de la atmósfera de las cuales se obtienen resultados e información para las situaciones y alturas dadas.

A partir de alimentar las ecuaciones con el análisis de datos, se determina el ritmo con el que se producen las variaciones en la atmósfera para un corto periodo en el futuro. Esos nuevos datos son aplicados nuevamente a las ecuaciones obteniendo así sucesivos cambios de ritmo de variaciones atmosféricas para previsiones cada vez más extensas en tiempo. Cada incremento del tiempo se conoce como etapa temporal¹⁷. Las etapas temporales se repiten hasta llegar al tiempo del pronóstico deseado¹⁸.

El periodo de la etapa temporal utilizado en el modelo se relaciona con la distancia entre los nodos de la malla, y se elige de forma que se mantenga una estabilidad numérica en los resultados.

¹⁷ Las etapas temporales para los modelos globales rondan los diez minutos, mientras que las utilizadas en los modelos regionales andan entre un minuto y cuatro minutos.

¹⁸ El modelo unificado **UKMET** se lanza para un pronóstico a seis días vista, el modelo **IFS** del *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* se lanza para pronósticos de hasta diez días y el modelo *Global Forecast System* realiza los cálculos a 16 días a futuro.

Como se ha comentado anteriormente, las ecuaciones utilizadas son imposibles de resolver (salvo unos pocos casos idealizados) de manera exacta mediante modelos analíticos ya que se trata de ecuaciones diferenciales parciales no lineales. De esta forma, las soluciones aproximadas han de ser obtenidas por medio de diferentes métodos numéricos: algunos modelos utilizan métodos espectrales para las dimensiones horizontales y métodos de elementos finitos para las verticales mientras que otros modelos como los regionales (u otros globales) habitualmente utilizan métodos de elementos finitos para las tres dimensiones. El producto obtenido por las soluciones del modelo es conocido como mapa sinóptico.

3.1.3 Parametrización

El tamaño de los elementos utilizados para los modelos meteorológicos y climáticos puede llegar a ser de entre cinco y 300 kilómetros. Una nube corriente de tipo *cumulus* tiene un tamaño de un kilómetro, por lo que requiere un tamaño de malla aún más fino que el utilizado en los modelos para poder representar físicamente las ecuaciones de la fluido dinámica relacionadas con el comportamiento del vapor saturado. Los modelos más modernos son capaces representar de forma explícita nubes convectivas (masas de aire inestable dentro de un mismo elemento) pero el comportamiento microfísico de las nubes necesita ser parametrizado para unos mejores resultados.

La cantidad de radiación solar irregular que recibe la tierra debido a la orografía y la naturaleza de los campos, a los diferentes tipos de nubes y de capas y la cantidad de calor (mencionar la humedad) distribuido en la atmósfera es otro ejemplo importante que ha de parametrizarse para obtener resultados más precisos.

3.2 LAS APLICACIONES: LOS MODELOS ATMOSFÉRICOS/OCEÁNICOS

Existe un gran número de modelos que han sido desarrollados por diversas agencias y organismos meteorológicos. Los mismos implementan di-

versas metodologías para pronosticar la evolución de las diversas variables meteorológicas.

Entre los modelos es especialmente renombrado el modelo global **GFS** (*Global Forecast System*)¹⁹ de la **NOAA** (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)²⁰. El modelo **NOGAPS** (*Navy Operational Global Atmospheric Prediction System*) creado por la *US Navy* es comparable al **GFS** de lo **NOAA**. El **UM** (*Unified Model*) es el modelo numérico de la atmósfera de *Mett Office* utilizado para aplicaciones meteorológicas y climáticas. El **ECMWF** (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) es un organismo intergubernamental independiente financiado por la mayoría de naciones europeas. Dispone de uno de los mayores complejos de superordenadores de Europa, además del mayor archivo de información de predicción meteorológica numérica del mundo. El modelo de pronóstico operacional que utiliza es el **IFS** (*Integrated Forecast System*), conocido en los EEUU también como el modelo europeo. El **GEM** (*Global Environmental Multiscale Model*) es un Sistema integrado de pronóstico y asimilación de datos desarrollado en el **RPN** (*Recherche en Prévision Numérique*), el **MRB** (*Meteorological Research Branch*), y el **CMC** (*Canadian Meteorological Centre*). Otros modelos conocidos son el modelo global **ARPÉGE** (*Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle*) y el modelo regional **AROME** (*Application de la Recherche à l'Opérationnel à Méso-Échelle*) desarrollados por el servicio meteorológico francés.

3.2.1 Global Forecast System

El **GFS** es el modelo de predicción meteorológica del **NCEP** (*National Centers for Environmental Prediction*). Esta base de datos permite el acceso a docenas de variables atmosféricas y de tierra, desde temperaturas, vientos y

¹⁹ Toda la información del **GFS** se puede consultar en su web <http://www.emc.ncep.noaa.gov/index.php?branch=GFS>

²⁰ Una lista con el resto de modelos de la **NOAA** ordenados según categorías se puede encontrar en <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets>, donde se pueden consultar los datos de los modelos de reanálisis, modelos climáticos y modelos meteorológicos entre otros.

precipitación, hasta humedad a nivel del suelo o la concentración de ozono atmosférico.

El planeta entero se encuentra modelizado con una resolución horizontal entre nodos de 28km, el cual es estudiado por los meteorólogos para pronosticar el tiempo a 16 días vista. La resolución horizontal se reduce a los 70km para pronósticos de una a dos semanas.

El modelo **GFS** es un modelo combinado compuesto de cuatro modelos diferentes (atmosférico, oceánico, terrestre y de hielo marino) que trabajan simultáneamente para proveer una imagen de las condiciones meteorológicas lo más precisa posible. El modelo se encuentra en continuo mantenimiento y mejora para optimizar tanto la precisión como el tiempo de cálculo. La información mallada original se encuentra disponible para descarga a través del **NOMADS** (*National Operational Model Archive and Distribution System*) de la **NOAA**, mientras que los productos de predicción meteorológica y más información pueden obtenerse en la web oficial del **GFS**.

Antes de 2003, el **GFS** era conocido como el modelo **AVN** (*Aviation*) y el modelo **MRF** (*Medium Range Forecast*). Estos productos son una colección ya obsoleta del **NCEP** que han sufrido muchos cambios y actualizaciones.

3.2.2 Navy Operational Global Atmospheric Prediction System

El **NOGAPS** (*Navy Operational Global Atmospheric Prediction System*) da acceso a una orientación numérica y productos en oferta de una amplia gama de requerimientos oceanográficos y atmosféricos de la *Navy*. Su componente de modelo de pronóstico es el corazón del sistema y representa el desarrollo anual de los científicos del departamento atmosférico del *Naval Oceanographic and Atmospheric Research Laboratory*.

Los datos en formato GRIB1 espaciados en una malla de entre medio grado y un grado de latitud-longitud se encuentran disponibles a intervalos de seis horas a través del **NOMADS** (*National Operational Model Archive and Distribution System*) del **NOAA**. La resolución vertical varía de 18 a 28 niveles

de presión, 34 niveles de profundidad marina, la superficie y otros niveles varios. Se pueden consultar libremente tanto el modelo atmosférico como el oceánico.

3.2.3 Los modelos ARPEGE, AROME y ALADIN²¹

El modelo de predicción a corto plazo **ARPÈGE** (*Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle*) cubre el globo con un promedio de malla de 16km, y Europa con una malla de 7,5km. Predice fenómenos a gran escala (depresiones, anticiclones etc.) que viajan por el mundo. **ARPÈGE** se utiliza para pronosticar hasta cuatro días para la metrópoli francesa, las zonas marítimas de ultramar y áreas de interés para Francia. Más allá de tres o cuatro días, *Météo-France* utiliza el modelo **IFS** del **ECMWF**.

Las variables de pronóstico para la parte de la atmósfera son los componentes horizontales del viento, la temperatura, la humedad específica del vapor de agua y cuatro categorías de hidrometeoros (gotas de líquido, cristales de hielo, lluvia, nieve) y la energía cinética turbulenta. Varias variables caracterizan las condiciones de la superficie y la superficie del suelo (temperatura, líquido y sólido contenido de agua etc.). La climatología mensual se utiliza para describir las propiedades fisiográficas del suelo y la vegetación, el ozono y los aerosoles.

ARPÈGE también viene en una versión de modelo climático. Junto con otros modelos (océano, hielo, superficie etc.), se puede simular los cambios climáticos con largos plazos de vencimiento (mes, año, década).

Se realizan cuatro pronósticos al día a las 0, 6, 12 y 18 horas **UTC** con vencimientos máximos de 102, 72, 114 y 60 horas respectivamente. Las previsiones del modelo **ARPÈGE** sirven como condiciones de contorno para los modelos de predicción de área limitada de resolución más fina **AROME** y **ALADIN**.

²¹ Se puede encontrar más información de estos tres modelos además del **IFS**, y otros modelos operacionales que utiliza *Météo-France* en <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?rubrique68&lang=fr>

Por último, es importante mencionar que el sistema de predicción operativa global a corto plazo, **PEARP** (*Prévision d'Ensemble ARPege*), también depende del modelo **ARPÈGE**. Este sistema *ensemble* se compone de 35 miembros de conjunto y tiene como objetivo comprender y cuantificar la incertidumbre inherente a cualquier predicción del tiempo. Su resolución horizontal es de unos 10km en Francia y de 60km en los polos opuestos.

Por otra parte **AROME**²², es el modelo de predicción numérica de malla fina operacional de *Météo-France*. Fue diseñado para mejorar el pronóstico a corto plazo de los riesgos tales como fuertes lluvias en el Mediterráneo, fuertes tormentas, niebla o las olas de calor.

Fue desarrollado a través de colaboraciones estrechas, nacionales e internacionales, para reflejar los últimos avances en la modelización atmosférica. De hecho, las parametrizaciones modelo físicas se heredan principalmente del modelo de búsqueda **Meso-NH** mientras que la parte dinámica está adaptado para bien amplia núcleo dinámico **ALADIN**.

El cálculo del modelo de malla, significativamente más delgada que sus predecesores, es de 1,3km (frente a los 7,5km contra **ARPÈGE** para Francia). La inicialización del modelo se lleva a cabo por un sistema de asimilación de datos derivada del **ARPÈGE-IFS** y adaptada a la resolución del modelo.

Produce pronósticos de cinco días en la Francia metropolitana y ayuda a predecir mejor el tiempo del mismo día y del día después (su plazo de previsión de hasta 42 horas).

Por último, el modelo **ALADIN** fue construido en su totalidad en el concepto de compatibilidad del sistema con su el **ARPÈGE-IFS**, este último, resultado de la colaboración entre el **ECMWF** y *Météo-France*. Para el proyecto de consorcio de **ALADIN**, se tomó la decisión de liberar a los proyectos **ARPÈGE-IFS** un área limitada, mientras el número de diferencias entre los dos programas se mantiene lo más pequeña posible.

²² Existe un *paper* interesante del modelo que se puede descargar en <http://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/arome2007.en.pdf>

Por consiguiente, era necesario copiar el código de un sistema a otro garantizando al mismo tiempo la máxima flexibilidad de integración, la modularidad y la generalidad del código. Después de unos 10 años de desarrollo y evolución, el software también se convirtió en la base de modelos como **AROME**.

ALADIN y sus variantes están actualmente en funcionamiento en 16 países. El modelo está diseñado para funcionar a resoluciones desde los siete (7) hasta los 10km, lo que lo convierte en una herramienta de predicción numérica del tiempo irremplazable en las áreas geográficas del mundo donde los modelos globales tienen una resolución más basta, todo unido a su bajo tiempo de cálculo. **ALADIN** también se puede utilizar en un sistema de reducción a escala entre los modelos globales y los modelos de área limitada a muy alta resolución como una herramienta de acoplamiento intermedio.

3.2.4 Integrated Forecast System

El **IFS** es otro modelo operacional de predicción meteorológica mundial, desarrollado y mantenido por el **ECMWF**, a menudo se le conoce como el "ECMWF" o el "modelo europeo" en América del Norte, para distinguirlo del **GFS** (*Global Forecast System*) americano. Es uno de los modelos de escala media sinóptica predominante en uso general en todo el mundo. Sus rivales más prominentes en el rango medio de seis a 10 días incluyen el **GFS** y el **GEM** Canadiense.

Se ejecuta cada doce horas y su producción se extiende a quince días en intervalos de un día (aunque la producción sólo se pone a disposición de la mayoría de los miembros del público en previsiones de siete a 10 días, dependiendo de la variable).

El modelo operacional funciona tanto en un modo de pronóstico determinista como en un conjunto de 51 miembros. El modo determinista actual tiene una resolución horizontal de 16 kilómetros mientras que los sistemas de predicción de conjunto tienen resoluciones de 32 y 64 kilómetros, y

137 capas en la resolución vertical en el determinístico comparado a 91 capas en el conjunto.

Las capas verticales de ambos modos siguen el terreno a niveles bajos. El **IFS**, al igual que el **GFS**, utiliza la representación espectral en lugar de un sistema basado en la red.

Dado que el **IFS** sólo ofrece salida en un intervalo día a día, cada país miembro del **ECMWF** típicamente ejecuta su propia predicción de escala sinóptica para los intervalos más cortos de cinco días o menos, separados del **IFS**, con intervalos de tiempo más pequeños (es el caso del modelo francés **ARPEGE**, del **UM** inglés y del **GME** alemán). La información del **IFS** es propiedad y con derechos de autor, aunque el **ECMWF** ha hecho una cantidad limitada de los cálculos más importantes del modelo a disposición del público sin restricciones.

www.ecmwf.int/en/research

<http://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2010/new-web-products-ecmwf-ensemble-prediction-system>

3.2.5 Modelo Global Environmental Multiscale

El **GEM** es un sistema integrado de pronóstico y asimilación de datos desarrollado entre la **RPN** (*Recherche en Prévision Numérique*), la **MRB** (*Meteorological Research Branch*) y el **CMC** (*Canadian Meteorological Centre*). Ha sido desarrollado para satisfacer las necesidades operacionales de previsión meteorológica de Canadá para los próximos años. Junto con el **GFS** y el **IFS**, que se extienden a 16 y diez días respectivamente, el **NAVGEN**, de ocho días, y el **UM**, que se extiende a seis días, es uno de los cinco modelos de escala media sinóptica predominante en uso general.

El modelo **GEM**²³ está actualmente operativo para el ciclo mundial de asimilación de datos y previsión a medio plazo, el ciclo regional de asimilación

²³ Se puede encontrar toda la información sobre el modelo en http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/rpn/gef_html_public/

de datos y el pronóstico a corto plazo. Además, las previsiones de mesoescala se producen de la noche a la mañana y están disponibles para los pronosticadores operacionales. Un número cada vez mayor de aplicaciones meteorológicas se basan en el modelo **GEM** o lo utilizan. La producción del **GEM** se extiende a 10 días, a la par con el **IFS** y el rango efectivo del **GFS**. Una variante de conjunto del **GEM** se ejecuta junto con el conjunto **GFS** para formar el **NAEFS** (*North American Ensemble Forecast System*).

Entre necesidades operacionales de previsión meteorológica de Canadá se incluyen previsiones regionales de corto alcance, predicción global de mediano alcance y asimilación de datos. En el futuro incluirán ahora el casting en las escalas meso y la predicción dinámica de rango extendido en escalas de tiempo mensuales a estacionales. La esencia del enfoque es desarrollar un único modelo altamente eficiente que se puede reconfigurar en tiempo de ejecución para ejecutar globalmente en resolución uniforme (con resolución posiblemente degradada en el hemisferio sur), o para ejecutarse con resolución variable sobre un dominio global tal, que la alta resolución se centre en un área de interés.

http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/rpn/gef_html_public/index.html

3.2.6 Unified Model

El **UM** (*Unified Model*), que se procesa desde la *Met Office*, presenta numerosas opciones.

Configuraciones globales y regionales Una configuración global presenta el pronóstico del tiempo a medio alcance además de apoyar a los modelos regionales establecidos de mayor resolución con condiciones de contorno.

Los pronósticos más detallados, capaces de representar con mayor exactitud ciertos procesos atmosféricos, son proporcionados por los modelos

de mayor resolución. Además, disponen de una mayor representación del terreno como son las líneas de costa y la orografía.

Una de las últimas incorporaciones es un modelo británico de resolución variable (**UKV**) que tiene un dominio interno de alta resolución (tamaño de malla de 1,5km) sobre el área de interés previsto, separado de una cuadrícula más gruesa (4 km) cerca de los límites por una zona de transición de resolución variable. Este enfoque de resolución variable permite que los límites se alejen más de la región de interés, reduciendo los efectos de frontera no deseados en los pronósticos.

Pronósticos de conjunto El modelo de pronóstico de conjunto inglés se trata de un modelo de cobertura global. Procura información sobre la incertidumbre en pronósticos de corto alcance. La solución desplegada se obtiene perturbando tanto las condiciones iniciales como algunos aspectos de los procesos físicos del modelo. El conjunto global de medio plazo soporta el pronóstico probabilístico de hasta siete días vista.

3.2.7 Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System

El **COAMPS** (*Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System*)²⁴, es el último producto de una serie de desarrollos de modelos de mesoescala en la División de Meteorología Marina del Laboratorio Naval de Investigación de la Armada de EEUU. Representa el análisis de última generación²⁵ y las herramientas de pronóstico a corto plazo (hasta 72 horas) aplicables a cualquier región dada de la Tierra tanto en la atmósfera como en el océano.

El componente atmosférico del **COAMPS** puede utilizarse para datos reales (*realdata*) o para aplicaciones idealizadas.

Para las aplicaciones *realdata*, el análisis del **COAMPS** puede utilizar campos globales del **NOGAPS** de la *Navy* o el pronóstico más reciente de **CO-**

²⁴ Se puede visitar su web en <https://www.nrlmry.navy.mil/coamps-web/web/home>

²⁵ Existe una descripción completa de la versión 3 del modelo que se puede obtener en https://www.nrlmry.navy.mil/coamps_docs/base/docs/COAMPS_2003.pdf

AMPS como primera estimación. Las observaciones desde aviones, radiosondas, barcos y satélites se mezclan con los campos de primera estima para generar el análisis actual.

Para experimentos idealizados, los campos iniciales se especifican utilizando una función analítica y /o datos empíricos (como un solo sondeo) para estudiar la atmósfera en un entorno más controlado y simplificado. El modelo atmosférico utiliza cuadrículas anidadas para lograr alta resolución para un área dada, contiene parametrizaciones para la mezcla de escalas *subgrid*, parametrización de *cumulus*, radiación y física húmeda explícita. Entre los ejemplos de fenómenos de mesoescala a los que se aplica el **COAMPS** se encuentran las brisas tierra-mar, las circulaciones inducidas por el terreno, los ciclones tropicales, los sistemas convectivos de mesoescala, las bandas de lluvias costeras y los sistemas frontales.

El dominio del modelo **COAMPS** normalmente cubre un área limitada sobre la Tierra. La resolución de la malla del modelo puede oscilar entre unos pocos cientos de kilómetros (escala sinóptica) y unos 100 metros. Las dimensiones reales aplicadas dependen de la escala de fenómenos que el usuario esté interesado en simular. Las dimensiones del modelo se pueden ajustar para producir cualquier patrón rectilíneo. Además, se puede girar para alinearse con cualquier característica de superficie, como el terreno o la costa. Además, el modelo **COAMPS** se puede ejecutar con cualquier número de cuadrículas anidadas, con el requisito de que la resolución de cuadrícula horizontal en cualquier malla sea un tercio de la de la malla más gruesa siguiente.

El sistema atmosférico del modelo consta de dos componentes principales: análisis y pronóstico. El análisis se ejecuta primero para preparar los archivos iniciales y de límites utilizados en el modelo de pronóstico. El ejecutable de pronósticos del **COAMPS** realiza la integración temporal de los números y la física del modelo. A continuación, genera campos pronósticos y diagnósticos en coordenadas de presión, sigma o coordenadas de altura.

El análisis oceánico del modelo está compuesto por el método tridimensional **MVOI** que analiza las observaciones oceánicas (a partir de buques,

boyas y satélites) para proporcionar al modelo atmosférico la temperatura de la superficie del mar (SST) y el análisis del hielo marino.

3.2.8 WaveWatch III

El modelo oceánico **WW3**²⁶ es un modelo de oleaje de tercera generación desarrollado en el **NOAA/NCEP** con las bases del espíritu del antiguo modelo **WAM**. Es un desarrollo adicional del modelo **Wavewatch**, desarrollado en la *Delft University of Technology* y **WaveWatch II**, desarrollado en el *Goddard Space Flight Center* de la **NASA**. **WW3** difiere de sus predecesores en muchos puntos importantes como las ecuaciones de gobierno, la estructura del modelo, los métodos numéricos y las parametrizaciones físicas. Además, con las últimas versiones del modelo, está evolucionando de un modelo de oleaje a un modelo de modelado de oleaje, lo que permite un fácil desarrollo de enfoques físicos y numéricos adicionales para este tipo de modelización²⁷.

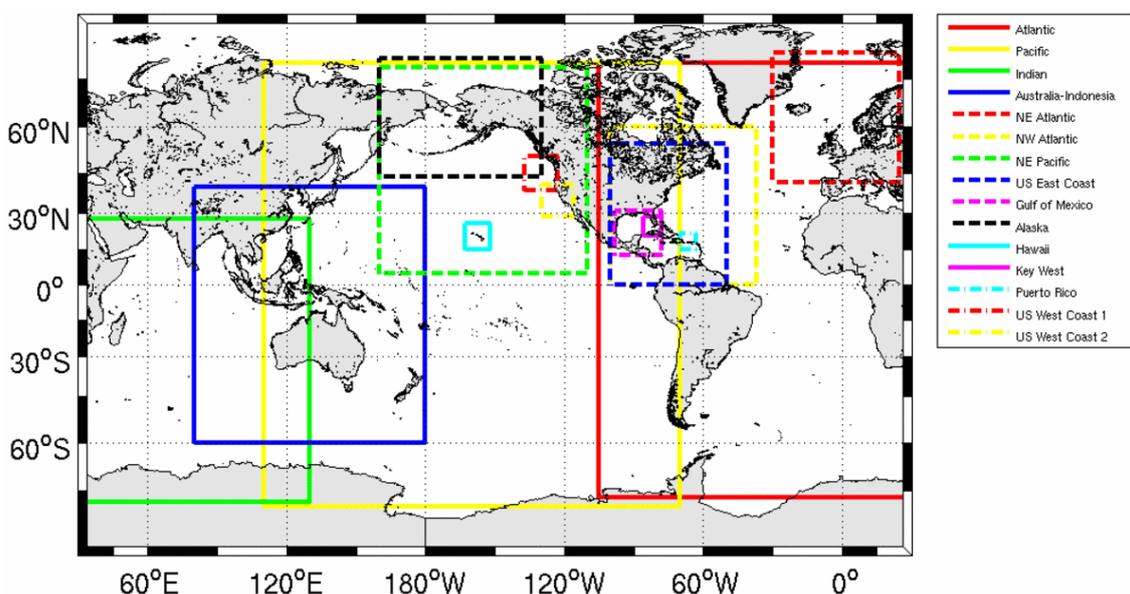


Figura 3.4: Regiones de cobertura del modelo WW3.
<http://polar.ncep.noaa.gov/waves/index2.shtml>

²⁶ El manual de la última versión de **WaveWatch III** 5.16, lanzada el 31 de octubre de 2016 se puede encontrar en <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/manual.v5.16.pdf>

²⁷ Toda la información, los pronósticos de las zonas de cobertura y productos varios se pueden encontrar en la web principal del modelo <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/index2.shtml>

4. WEBS DE DATOS METEOROLÓGICOS EN BRUTO

A Norte joven y a Sur viejo, no les fíes el pellejo

Los productos analizados en esta sección componen mapas sinópticos tanto de superficie como de altura, campos de viento, campos de oleaje y campos de temperatura. Los análisis y las previsiones (este trabajo se centra solo en los datos de previsión) se preparan a partir de las observaciones y de los resultados de los cálculos numéricos.

La lista de continuación se resume las webs más representativas que se han seleccionado para el estudio:

- 🌐 Web del **GFS** en la cual existen enlaces para obtener datos del modelo

<http://www.emc.ncep.noaa.gov/index.php?branch=GFS>

<http://mag.ncep.noaa.gov/>

http://ready.arl.noaa.gov/READY_animations.php

- 🌐 Web del **FNMO**C (*Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center*) donde se pueden encontrar los datos en bruto de los modelos **NOGAPS**, **GFS** y **WW3**.

<http://www.usno.navy.mil/FNMOC/>

- 🌐 Web del **ECMWF** donde se pueden obtener los resultados en bruto del modelo **IFS**.

<http://www.ecmwf.int/>

4.1 WEB DE LA FNMO

4.1.1 Información general

El **FNMO**C, provee el apoyo mundial de meteorología y oceanografía de la más alta calidad, más relevante y oportuna a las fuerzas estadounidenses y de la coalición desde su Centro de Operaciones en Monterey, California. Se trata por lo tanto de una web que cuenta con grandes recursos y una cober-

tura casi global, con una alta resolución para muchas zonas debido al empleo de su modelo regional o de mesoescala.

En ella se pueden encontrar cuatro (4) productos principales: productos meteorológicos, productos oceanográficos, aplicaciones tropicales y datos de climatología y de archivo. Solo se analizarán los dos primeros en este trabajo.

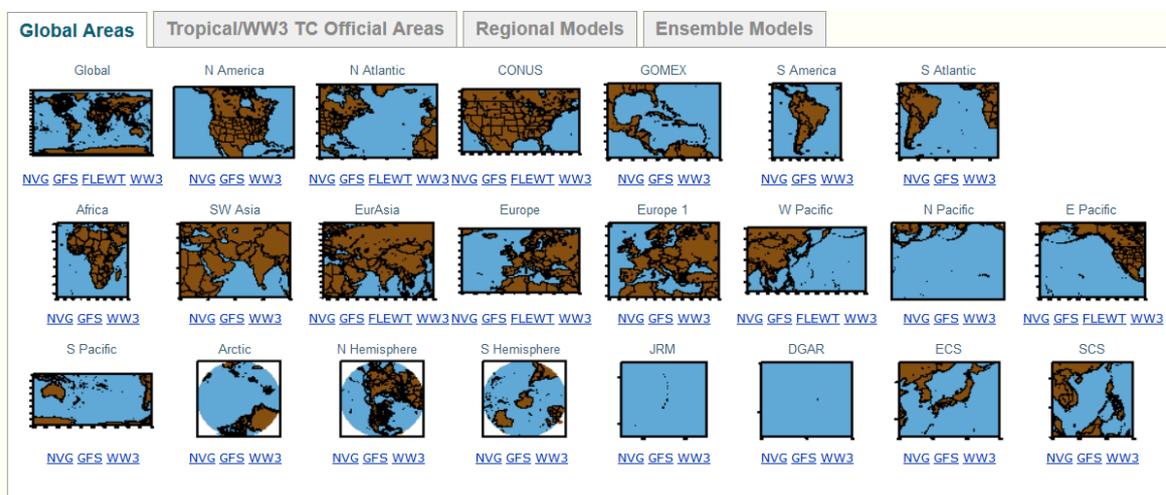
Respecto a los modelos más destacados a partir de los cuales se recogen y se muestran los datos, se encuentran el modelo global **GFS**, el modelo regional **COAMPS** y el modelo oceanográfico **WW3**.

4.1.2 Productos meteorológicos y oceanográficos

Estas áreas proporcionan por una parte, mapas de predicción meteorológica global y regional (**WXMAP**) y mapas de predicción meteorológica global (**EFS**). También se dispone de descripciones **WxMAP** de las predicciones de **NAVEM** para la comparación lado a lado con el modelo global de **NCEP NWP** (el modelo **GFS**).

Por otra parte provee gráficos de predicción de olas oceánicas globales y regionales **WW3 (Wave Watch III)**, gráficos de predicción de olas oceánicas del modelo de conjunto **Global Ensemble WW3** y gráficos de la temperatura de la superficie del mar y anomalías de temperatura superficial del mar (**NCODA**).

https://www.fnmoc.navy.mil/wxmap_cgi/index.html



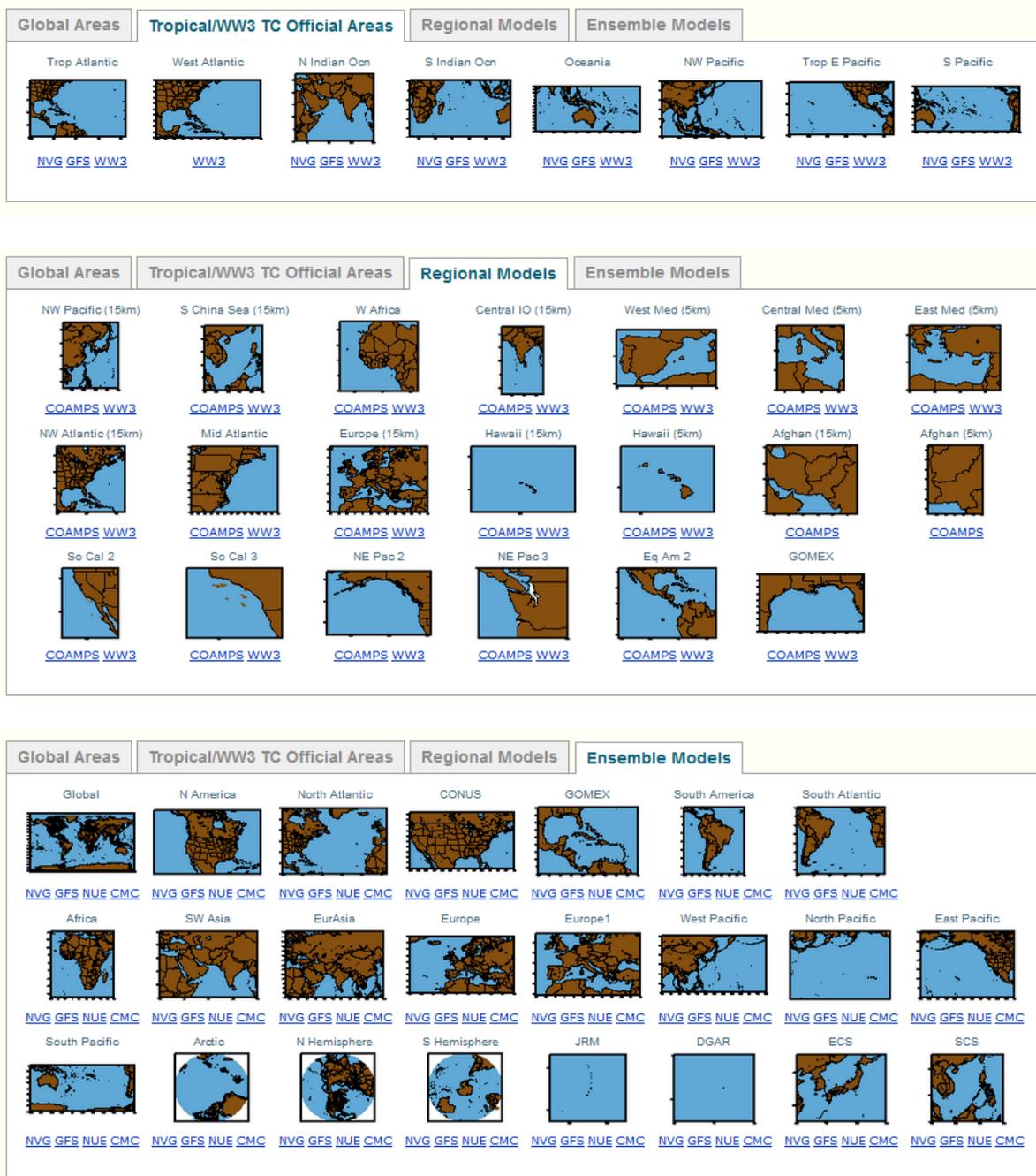


Figura 4.1: Zonas de cobertura de la web.
<https://www.fnmoc.navy.mil/wxmap.cgi/index.html>

La navegación y la búsqueda de productos es muy fácil e intuitiva. En la página principal se encuentra un menú dividido en cuatro (4) partes: *Global Areas*, *Tropical/WW3 TC Official Areas*, *Regional Models* y *Essemble Models*. Se trata de los cuatro (4) tipos de datos en bruto de modelo en función de las necesidades del usuario, lo que se traduce en resolución, precisión y previsión a largo plazo. Las siguientes imágenes resumen la cobertura ofrecida por los

productos y los modelos a partir de los que se muestran los datos (**NVG, GFS, FLEWT, WW3, COAMPS, NUE** o **CMC**) para zona en cada uno de las cuatro (4) opciones comentadas. Para acceder la serie de productos meteorológicos disponibles, basta con clicar en la imagen de la zona deseada.

https://www.fnmoc.navy.mil/wxmap_cgi/#global

Una se accede a la tabla de productos disponibles para la zona deseada, en la parte superior se encuentra el menú con el acceso a las áreas de los modelos y a la ayuda. En la parte inferior de menú, se encuentra información sobre los modelos utilizados para la representación de los gráficos, el área de cobertura geográfica de los datos gráficos. DTG proporciona la fecha de ejecución del modelo y debajo de ésta se muestra la resolución de los datos.

Más abajo, en *Product Sets*, hay hasta ocho (8) categorías de productos para filtrar: *Aviation, Core, Tropical, UpperAir, SeaState, Warfighter, EFS* y *All*. Entre los productos de mayor interés se pueden encontrar los siguientes:

Tabla 4.1: *Productos meteorológicos disponibles en la web del FNMOC.*

<i>Surface (10 meter) Wind Barbs, Streamlines, Isotachs [kts]</i>	Superficie (10 metros) Flechas de viento, Contornos, Isotacas [kts]
<i>Surface Temperature [degC]</i>	Temperatura superficial [°C]
<i>200hPa Heights [m] and Isotachs [kts]</i>	Alturas 200hPa [m] e Isotacas [kts]
<i>300hPa Heights [m] and Isotachs [kts]</i>	Alturas 300hPa [m] e Isotacas [kts]
<i>500 hPa Heights [m] and Rel. Vort [10-5 s-1]</i>	Alturas de 500 hPa [m] y Vorticidad relativa [10-5 s-1]
<i>700 hPa heights, Rel. Hum. [%], Vertical Velocity [Pa/s]</i>	Alturas de 700 hPa, Hum. relativa [%], Velocidad vertical [Pa/s]
<i>850 hPa Temperature [C], winds [kts] and Rel. Hum. [%]</i>	Temperaturas a 850 hPa [C], vientos [kts] y Hum. Relativa
<i>1000-500 Thickness [dm] and Sea Level Pressure [mb]</i>	Espesor 1000-500 [dm] y presión a nivel del mar [mb]
<i>Previous 6-hr Precipitation Rate [mm] and Sea Level Pressure [hPa]</i>	Tasa de precipitación de 6 horas previas [mm] y presión a nivel del mar [hPa]
<i>FNMOC Wave Watch 3 Sig Wave Heights [ft], Over Ocean Sfc Winds [kt]</i>	FNMOC Wave Watch 3 Alturas de ola significativas [ft], Vientos sobre la superficie del mar [kt]
<i>Significant Wave Height & Direction</i>	Altura y dirección significativa de las olas
<i>Swell Wave Height & Direction</i>	Altura y dirección de la mar de fondo

<i>Wind Wave Height & Direction</i>	Altura y dirección de la mar de viento
<i>Swell Wave Period & Direction</i>	Período y dirección de la mar de viento
<i>Wind Wave Period & Direction</i>	Período y dirección de la mar de viento
<i>White Cap Probability</i>	Probabilidad rompiente
<i>Sea Surface Temperature</i>	Temperatura de la superficie del mar

La opción *Compare* proporciona vínculos a la misma tabla de productos a la misma hora válida de un modelo diferente.

Haciendo clic en los discos verdes, amarillos o naranjas se pueden ver los gráficos de los productos correspondientes.

●:Image from selected DTG. ●:12-Hour old image. ●:24-Hour old image. ☉:No image in last 2 model runs.

Figura 4.2: Los discos de colores de la tabla indican la antigüedad de las imágenes. (https://www.fnmoc.navy.mil/wxmap_cgi/index.html)

La opción *Loop* proporciona una visualización animada o bucle secuencial de la tabla meteorológica. Accediendo a ésta última, se abre un nuevo enlace muy interactivo donde además de controlar los intervalos de tiempo, se pueden consultar rápidamente otro tipo de productos (disponibles en el menú de la izquierda *Other Products*) sin tener que volver a la tabla principal, además de que existe la posibilidad de realizar comparaciones con otros modelos asociados como el **GFS Global**, **UKMET Global**, **NVG Ensemble Global**, **GFS Ensemble Global**, **NUOPC Ensemble Global** o el **CMC Ensemble Global**.

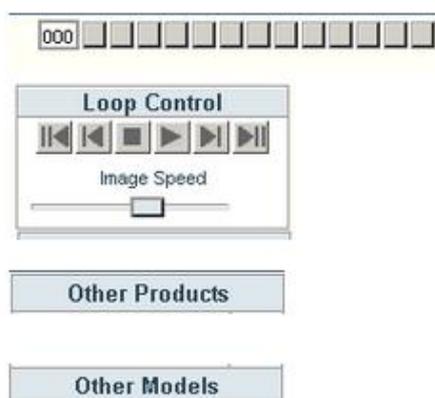


Figura 4.3: El panel de animación permite múltiples opciones de visualización de los productos gráficos.

(https://www.fnmoc.navy.mil/wxmap_cgi/index.html)

El enlace *all* debajo de la opción *tau* muestra todos los gráficos para una previsión seleccionada o muestra los gráficos para todos los valores para un producto seleccionado sin forma de bucle.

Las previsiones de los productos se tratan de previsiones de hasta 180 horas en intervalos de seis (6) a 12 horas (dependiendo del producto).

Debajo de la tabla de productos se muestran seis (6) fechas o periodos de seis (6) horas. Para ver los gráficos de una fecha diferente, basta con hacer clic en el enlace de dicha fecha.

4.1.3 Aplicaciones Tropicales

Esta área provee enlaces a imágenes satelitales de ciclones tropicales y seguimientos de pronóstico de tormentas tropicales actuales.

<http://www.usno.navy.mil/FNMOC/tropical-applications>

4.1.4 Climatología y datos archivados

Esta área proporciona enlaces al **GODAE** (*Global Ocean Data Assimilation Experiment*) para productos climatológicos²⁸.

4.2 WEB DE LA ECMWF

4.2.1 Información general

El **ECMWF** es una organización intergubernamental independiente apoyada por 34 estados además de un instituto de investigación y un servicio operativo 24x7, que produce y difunde predicciones numéricas del tiempo a total disposición de sus Estados Miembro. Tiene su sede en Reading, Reino Unido.

La organización se estableció en 1975 y ahora emplea a cerca de 300 personales de más de 30 países. El ECMWF es uno de los seis miembros de las

²⁸ Para más información se puede visitar la web del **GODAE** <http://www.usgoda.org/>

Organizaciones Coordinadas, que también incluyen la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), el Consejo de Europa (CoE), la Agencia Espacial Europea (ESA), la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE) y la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT)²⁹.

La misión central de **ECMWF** es producir pronósticos meteorológicos numéricos y monitorear el sistema terrestre, llevar a cabo investigaciones científicas y técnicas para mejorar las habilidades de predicción y mantener un archivo de datos meteorológicos.

Para llevar a cabo esta misión central, el Centro ofrece pronósticos meteorológicos mundiales globales dos veces al día, el análisis de la calidad del aire, la monitorización de la composición atmosférica, la vigilancia del clima, el análisis de la circulación oceánica y predicción hidrológica.

También ofrece capacitación avanzada al personal científico de los Estados Miembro y Cooperantes además de poner el 25% de las instalaciones de supercomputación disponibles a los Estados miembros para su uso. Al reunir recursos de sus Estados Miembro y cooperantes, el **ECMWF** sirve a su comunidad proporcionando pronósticos meteorológicos líderes en el mundo, software especializado y el mayor archivo de datos meteorológicos del mundo³⁰.

Produce análisis operacionales basados en conjuntos y predicciones que describen la gama de posibles escenarios y su probabilidad de ocurrencia. Los pronósticos abarcan plazos que van desde medianos a mensuales y estacionales, y hasta un año antes.

²⁹ Más información sobre la organización del **ECMWF** se encuentra en <http://www.ecmwf.int/en/about/who-we-are>

³⁰ En el siguiente link se puede encontrar información más completa sobre los recursos del Centro <http://www.ecmwf.int/en/research>

También realiza investigaciones sobre todos los aspectos de la predicción meteorológica mundial, pertinentes para las predicciones hasta un año antes³¹.

El IFS del ECMWF, que se está convirtiendo en el modelo de sistema Tierra más completo, ha creado una oportunidad para analizar y predecir otros aspectos del entorno natural más que puramente el clima.

4.2.2 Los productos

Se puede acceder a los productos disponibles³² por medio de la web <http://www.ecmwf.int/> en la cual además de pronósticos a diferente plazo (medio, extendido y largo) se podrá consultar el re-análisis de situaciones anteriores. Solo ciertos productos de predicción a medio plazo se encuentran disponibles al público³³, por lo que el análisis de éste trabajo se centrará exclusivamente en ellos.

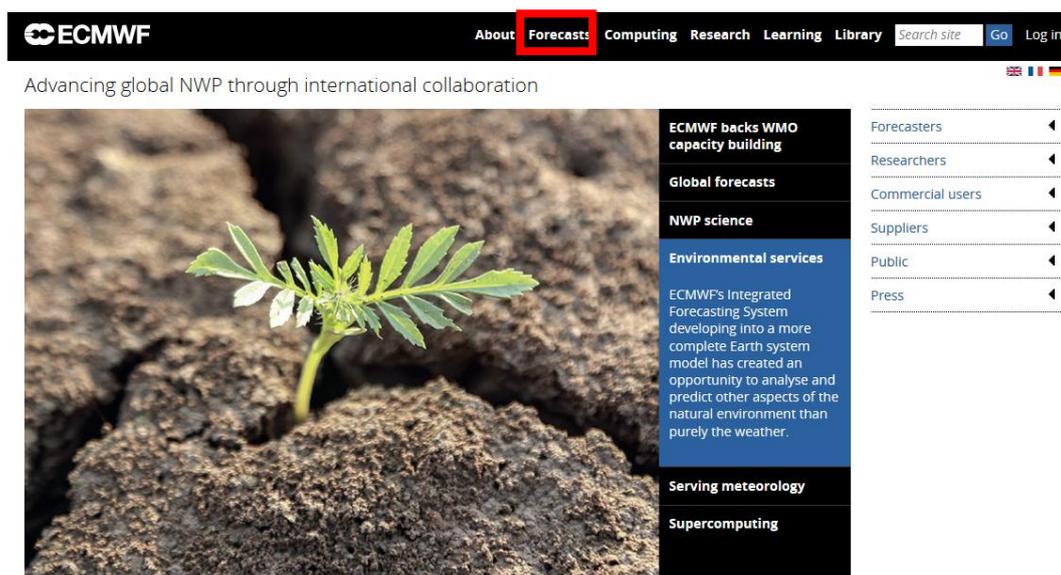


Figura 4.4: Portada de la web y acceso a la sección Forecasts. (<http://www.ecmwf.int/>)

³¹ El apartado de investigación de la web resulta interesante <http://www.ecmwf.int/en/research>

³² Una guía completa de los productos de predicción del ECMWF se puede encontrar en <http://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2015/16559-user-guide-ecmwf-forecast-products.pdf>

³³ El siguiente enlace resume todos los productos disponibles y al tipo de público al que van dirigidos <http://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/public-wmo-and-acmad-datasets#public>

Para ello se deberá acceder al apartado *Forecasts* desde el menú superior de la página principal.

4.2.3 Pronósticos a medio plazo o *Medium Range*

Dispone de una estructura de pronóstico de alta resolución que proporciona predicciones meteorológicas de hasta diez (10) días. El sistema comprende un sistema de asimilación de datos en cuatro dimensiones (4D-Var), el modelo global de alta resolución y el conjunto de 51 miembros **ENS** (*Ensemble*) con una resolución de 30km. Las gráficas de media y propagación **ENS** para la presión media del nivel del mar, la velocidad y la temperatura del viento a 850hPa y el geopotencial a 500hPa que están disponibles para el público.

El modelo de pronóstico de alta resolución se ejecuta dos veces al día. Las parcelas muestran diferentes parámetros en todo el planeta, normalmente divididos en seis áreas geográficas diferentes. Los gráficos de pronósticos de alta resolución de diez (10) días de la presión media del nivel del mar, la velocidad del viento y la temperatura en niveles bajos, y los mapas de 500hPa son de acceso público también.

El modelo de imágenes satelitales simuladas suele estar disponible un poco más tarde que otros gráficos de pronósticos de alta resolución debido a un mayor tiempo de procesamiento.

Existen otros productos de interés que son solo accesibles a meteorólogos como es el ejemplo del modelo de predicción de oleaje.

4.2.4 Pronósticos de rango extendido

Proporciona una visión general de la previsión para los próximos 46 días, centrándose principalmente en los cambios semanales en el tiempo.

Los productos gráficos presentan generalmente el pronóstico de 32 días en términos de anomalías con respecto al clima (por ejemplo, la probabilidad de que el clima sea más cálido o más frío que el promedio de la época

del año) y se muestran principalmente como medios de siete (7) días. Se derivan del ENS que se extiende dos veces por semana (jueves y lunes).

Existen otra variedad de productos más que se consideran de interés menos práctico para el marino, con información y resultados en bruto a interpretar y analizar dirigidas a meteorólogos.

4.2.5 Pronósticos de largo plazo

Pronósticos a largo plazo Proporcionan información sobre las condiciones atmosféricas y oceánicas promediada en los próximos meses. A pesar de la naturaleza caótica de la atmósfera, las predicciones a largo plazo se basan en una serie de componentes que a su vez muestran variaciones en las escalas de tiempo largas (estaciones y años) y, hasta cierto punto, son predecibles. El más importante de estos componentes es el ciclo ENSO (*El Niño Southern Oscillation*). Aunque es un fenómeno acoplado océano-atmósfera centrado sobre el Pacífico Tropical, la influencia de sus fluctuaciones se extiende alrededor del mundo.

De forma similar a los rangos a medio plazo y de plazo extendido, los pronósticos a largo plazo son producidos por el modelo acoplado de océano-atmósfera IFS. El modelo se ejecuta hacia adelante en el tiempo a un rango de varios meses de forma reiterada, con ligeras variaciones para representar incertidumbres en el proceso de pronóstico, para producir el pronóstico del conjunto.

4.2.6 La sección *Charts* (Pronósticos a medio plazo)

En éste apartado se podrá acceder a los pronósticos de alta resolución, los *ensembles* con datos medios y generalizados de la presión atmosférica a nivel del mar, velocidad del viento y temperatura a 850hPa y el geopotencial a 500hPa.

<http://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts>

Se puede acceder al contenido de acceso público de forma más directa por medio del siguiente enlace, donde los productos disponibles al público se encuentran ya filtrados:

[http://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts/catalogue?f\[0\]=im_field_chart_type%3A481&f\[1\]=im_field_chart_type_2%3A607](http://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts/catalogue?f[0]=im_field_chart_type%3A481&f[1]=im_field_chart_type_2%3A607)

Tanto la fecha de pronóstico que se desea, el tipo de gráfico y el área se pueden seleccionar mediante el menú de color gris en la parte superior izquierda. También existe un menú para la impresión directa del gráfico.

En *High Resolution Forecast* se podrá acceder a los gráficos que representan los pronósticos de la presión media del nivel del mar (**MSLP**) y la velocidad del viento a 850hPa, o la altura geopotencial a 500hPa y la temperatura a 850hPa. Todo ello desde el pronóstico de alta resolución del **ECMWF (HRES)**.

En los gráficos la presión superficial reducida al nivel del mar, las isobaras están espaciadas cada 5hPa. Estos gráficos muestran los patrones de presión superficial asociados con diferentes tipos de clima.

La velocidad del viento a 850hPa se muestra en metros por segundo utilizando un sombreado de color que comienza a 15m/s. Este campo destaca áreas de vientos fuertes de aproximadamente 1,5km sobre el nivel del mar.

En la altura geopotencial de la superficie de presión de 500hPa los contornos muestran efectivamente las principales ondas troposféricas: las bajas alturas que indican vaguadas y ciclones en la troposfera media y altas alturas que indican crestas y anticiclones.

El sombreado de color en el nivel de 850hPa indica la temperatura en grados Celsius, en bandas de color de 4°C. Esta es la temperatura por lo general, justo por encima de la capa límite. En este nivel, el ciclo diario (diario) de temperatura es generalmente insignificante, por lo tanto, la temperatura a 850hPa puede usarse para indicar zonas frontales (es decir, áreas de gran gradiente de temperatura, donde las isotermas están más juntas entre sí), y naturalmente también para distinguir entre masas de aire cálido y frío. A veces la temperatura a 850hPa puede usarse para evaluar aproximadamente la

temperatura máxima al nivel del mar agregando de 10 a 15°C, y para un terreno más alto se puede interpolar. Sin embargo, hay situaciones en las que este método no se aplica, especialmente en invierno.

<http://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts/medium/mean-sea-level-pressure-wind-speed-850-hpa-and-geopotential-500-hpa?time=2017041112,0,2017041112¶meter=Wind%20850%20and%20mslp&area=Europe>

En el apartado *Ensemble mean and spread for mean sea level pressure, wind speed and temperature at 850hPa, and geopotential at 500hPa* se puede consultar la salida del Sistema de Predicción **ENS** (*Ensemble* o conjunto) del **ECMWF**, para cuatro parámetros: presión media a nivel del mar, temperatura a 850hPa, velocidad del viento a 850hPa y altura geopotencial a 500hPa.

Estos gráficos se actualizan una vez cada 12 horas. Cada cabecera del gráfico está etiquetada con la fecha y hora en que se iniciaron las predicciones de conjunto (D0). Cada mapa es válido para una fecha entre D0+1 y D0+10 días, que se indica en el encabezado del gráfico por **VT** (*Valid Time*) y que se puede ajustar utilizando los menús desplegables por encima del gráfico (casillas grises), al igual que las regiones.

Los pronósticos de *Ensemble* o conjunto consisten en 51 predicciones separadas hechas por el mismo modelo de cálculo, todas activadas desde el mismo tiempo de inicio. Las condiciones de partida para cada miembro del conjunto son ligeramente diferentes, y los valores de los parámetros físicos utilizados también difieren ligeramente. Las diferencias entre estos miembros del conjunto tienden a crecer a medida que avanzan los pronósticos, es decir, a medida que aumenta el tiempo de espera previsto.

Para las parcelas de viento a 850hPa, la resolución de datos utilizada es menor que para las otras variables, de forma que se mejora la legibilidad.

En los paneles de la izquierda los contornos representan el promedio (media) de un conjunto conocido como la media del conjunto. En los paneles de la derecha, los contornos muestran, a modo de comparación, el pronóstico de una sola resolución más alta.

La propagación dentro del conjunto también está representada en cada panel, utilizando sombreado de color. En los paneles de la derecha, la propagación se representa simplemente como la desviación estándar. Las unidades son las mismas que en la lista de parámetros anterior. El panel izquierdo, mientras tanto, muestra la 'desviación estándar normalizada'; para ello se toma la desviación estándar del panel derecho y se divide por una 'desviación estándar media'. Esta 'desviación estándar media' es un campo pre-calculado, que es una función del tiempo de avance y de la ubicación geográfica. Si el tiempo de inicio del pronóstico seleccionado es 00UTC, representa la media de las desviaciones estándar de los 30 pronósticos de conjunto de ECMWF más recientes a 00UTC. De manera similar, para una previsión 12UTC seleccionada, se utilizan las 30 previsiones más recientes de 12UTC.

Así, por ejemplo, si la propagación (panel de la derecha) al día cinco (5) en un conjunto de pronósticos de conjunto particular parece ser grande, pero anteriormente también tendía a ser igualmente grande en el día cinco (5) en la misma área, entonces el sombreado del panel izquierdo denotará un valor cercano a uno (sin color). Por el contrario, si la propagación en un área particular en el día cinco (5), en un conjunto, excede la propagación que se había visto recientemente en el día cinco (5), entonces el sombreado del panel izquierdo indicará un valor bastante mayor que uno (sombreado púrpura).

Los valores absolutos relativamente grandes de la desviación estándar (sombreado del panel derecho) tienden a indicar una incertidumbre relativamente alta en los pronósticos del parámetro visualizado y, por tanto, indican hasta qué punto se puede confiar en los valores absolutos de los campos de pronóstico con contornos (ya sea la media del conjunto en el panel izquierdo o el pronóstico de alta resolución en el panel derecho). En otras palabras, los valores pequeños en los campos sombreados (sin color o los puros más claros) significan una alta confianza, los valores grandes (brillantes púrpuras/magentas) significan baja confianza.

La desviación estándar normalizada (sombreado del panel izquierdo) tiene como objetivo poner la medida de desviación estándar en el contexto del comportamiento general del conjunto, en esa área, durante los últimos 30

días. Por lo tanto, aunque la predicción para por ejemplo, la presión media a nivel del mar el día siete (7) será ordinariamente un pronóstico de confianza bajo, no obstante habrá algunas ocasiones en que uno puede estar un poco más seguro de lo usual, y la desviación estándar normalizada tenderá a demostrar esto (teniendo un valor algo menos que uno, es decir, sombreado verde).

<http://www.ecmwf.int/en/forecasts/charts/medium/ensemble-mean-and-spread-four-standard-parameters?time=2017041112,0,2017041112¶meter=MSLP&area=Europe>

4.2.7 La sección *Datasets*

Solo una reducida parte del contenido se encuentra accesible al público. Las previsiones, los análisis, los re-análisis climáticos, las reestructuraciones y los datos de modelos múltiples están disponibles en el archivo **MARS** o a través de servidores de datos dedicados. Debido al contenido extenso de esta sección y a la menor importancia de los datos para el navegante no se analizará.

<http://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets>

5. WEBS DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA TRATADA

Lo que se promete en la tormenta, se olvida en la calma

Este tipo de datos son a menudo suficientes para un análisis práctico de la evolución de los fenómenos meteorológicos en la navegación marítima.

Los productos analizados son los mapas sinópticos tanto de superficie como de altura, campos de viento, campos de oleaje y campos de temperatura. Los análisis y las previsiones (este trabajo se centra solo en los datos de previsión) se preparan a partir de las observaciones y de los resultados de los cálculos numéricos.

La lista de continuación se resume las webs más representativas que se han seleccionado para el estudio:

- 🌐 Web del **OPC** (Ocean Prediction Center)
- 🌐 Web de la *MetOffice*
- 🌐 Web de *Météo France*
- 🌐 Web de **AEMET** (Agencia Estatal de Meteorología)
- 🌐 Web del Servicio Meteorológico de la Armada de Chile
- 🌐 Web del *Bureau of Meteorology* del Gobierno australiano
- 🌐 Web meteorológica del Gobierno de Canadá

<https://weather.gc.ca/>

5.1 WEB DEL OPC

5.1.1 Información general

Esta web se considera una mina de datos. También hay que decir que los recursos con los que cuenta son notables. En sus propias palabras, “el **OPC** se esfuerza por proporcionar los mejores pronósticos meteorológicos del mundo, evitando la pérdida de vidas y propiedades en la mar”. Es un componente integral de los **NCEP** (*National Centers for Environmental Prediction*), ubicados en el Centro Nacional de Predicción del Tiempo y Clima en College Park, Maryland (USA).

Origina y emite avisos y pronósticos marinos, monitorea y analiza continuamente los datos marítimos y proporciona orientación sobre las variables atmosféricas marinas con el propósito de proteger la vida y la propiedad, la seguridad en el mar y la mejora de las oportunidades económicas. Estos productos cumplen las responsabilidades de los Estados Unidos con la Organización Meteorológica Mundial y la Convención **SOLAS** sobre la Seguridad de la Vida en el Mar 1960 y 1974.

También proporciona áreas de pronóstico en coordinación con el **NHC** (*National Hurricane Center*) para los Ciclones Tropicales en el Océano Atlántico al E de 60W y al N de 20N. En situaciones de emergencia actúa como una copia de seguridad para el **NHC** y la Oficina Nacional de Servicio Meteorológico de Honolulu asumiendo las funciones marinas. Esas oficinas también actúan como copias de seguridad de las funciones marítimas del **OPC**³⁴.

5.1.2 Los productos

La División de Pronósticos Oceánicos del **OPC** publica alertas y pronósticos en formato impreso (boletines) y formatos gráficos, en una base de 24x7 hasta cinco (5) días antes. Más de 100 de estos productos se emiten diariamente. Cubren el Océano Atlántico Norte desde la costa oeste de Europa hasta la costa este de Estados Unidos y Canadá y el Océano Pacífico Norte desde la costa oeste de los Estados Unidos y Canadá hasta la costa oriental de Asia.

Las previsiones meteorológicas y las advertencias de **OPC** para estas áreas garantizan principalmente la seguridad de los buques comerciales y otros buques en alta mar. En estas zonas de alta mar están incrustadas zonas marinas más pequeñas frente a las costas del Atlántico y del Pacífico. Estas zonas se extienden desde cerca de la costa hacia el mar hasta justo más allá de las Zonas Económicas Exclusivas de los Estados Unidos, hasta aproxima-

³⁴ Se puede encontrar más información comercial sobre el **OPC** en los siguientes panfletos:

http://www.opc.ncep.noaa.gov/OPC_Pamphlet.pdf

http://www.opc.ncep.noaa.gov/OPC_Flyer.pdf

damente 250 millas marinas. Los servicios del OPC garantizan en general la seguridad de la pesca comercial, recreativa y recreativa, navegación y actividades de navegación en estas aguas mar adentro.

Accediendo a la página principal de la web <http://www.opc.ncep.noaa.gov/index.php> la búsqueda de productos³⁵ en ella es muy fácil e intuitiva. El esquema de los menús para navegar se explica con ayuda de la siguiente imagen.

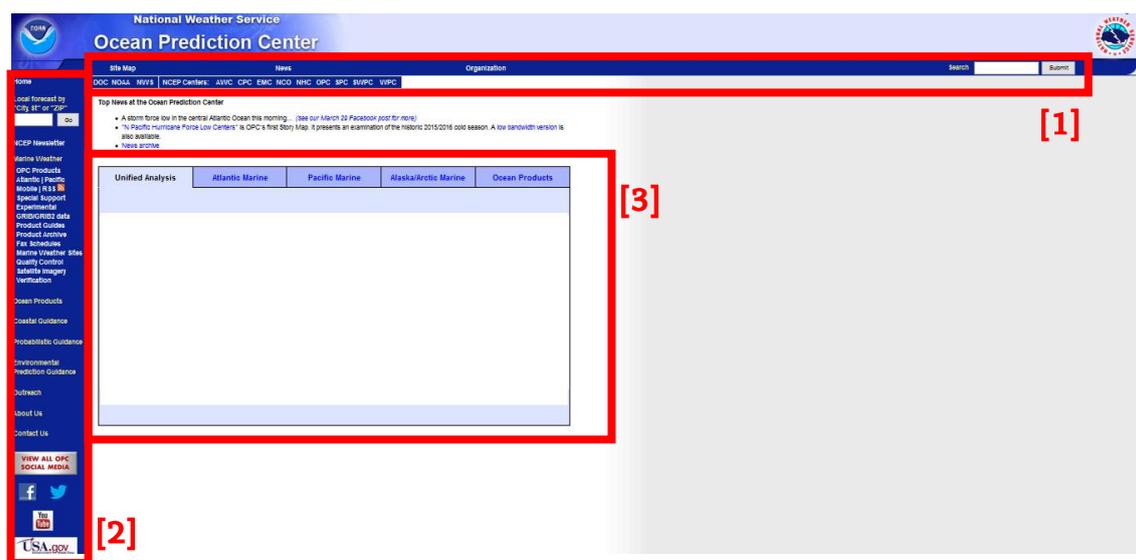


Figura 5.1: *Página principal de la web.*
(<http://www.opc.ncep.noaa.gov/index.php>)

En la parte superior de la web [1] se encuentra un menú con los botones *Site Map*, *News* y *Organization*. Clicando en *Site Map* se puede acceder al esquema de contenidos general de la web. Además de los enlaces anteriores, en este menú existe una sección *Search* de búsqueda general de contenidos en la propia web.

El menú principal [2] consta de 12 secciones empezando por el botón *Home* de acceso a la página principal. Debajo en *Local forecast by "City, St" or "ZIP"* se encuentra un motor de búsqueda rápida de boletines meteorológicos por medio del nombre de la ciudad, la calle o el código postal de un lugar.

³⁵ El siguiente enlace da acceso a la mayoría de guías explicativas sobre los productos disponibles en la web http://www.opc.ncep.noaa.gov/product_guides.shtml

Los apartados *Marine Weather* y *Ocean Products* son las secciones que más interesan en relación a los productos meteorológicos. La sección *Marine Weather* a su vez se compone de los siguientes apartados: *OPC Products, Atlantic | Pacific, Mobile | RSS XML/RSS logo, Special Support, Experimental, GRIB/GRIB2 data, Product Guides, Product Archive, Fax Schedules, Marine Weather Sites, Quality Control, Satellite Imagery y Verification*. Los más interesantes se explican a continuación.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/marine_weather.shtml

5.1.3 Sección *Marine Weather*

OPC Products Los apartados interesantes de esta sección se tratan de *Briefing Pages (Marine Charts & Text Forecasts), Unified Surface Analysis y Product Loops*.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/opc_products.shtml

El primero de ellos es para imprimir la mayoría de las cartas meteorológicas marinas y/o las previsiones de texto creadas por el **OPC**. Si se dispone una conexión a internet lenta tardará algún tiempo en descargar los gráficos, pero se puede decir que comparado con muchas webs, los archivos son bastante ligeros (además, la web da importancia al tiempo de carga de los archivos como se puede ver en los comentarios conforme se navega en ella).

Los paquetes de información de cartas del Atlántico y del Pacífico disponen de las cartas más recientes tanto de análisis como de predicción. Se difunden dos tipos de productos gráficos: el análisis y los pronósticos del flujo de escala sinóptica de nivel superior se basan en un esquema de objetivos informáticos; el análisis de superficie y las cartas de pronóstico se producen a partir de una mezcla de medios objetivos y subjetivos determinados por un pronosticador marino. Los horarios indicados en los gráficos están en **UTC**. Hay dos categorías principales de gráficos difundidos.

Los mapas de altura son representaciones de los análisis de modelos de cálculo y pronósticos de crestas y vaguadas para las superficies de presión constante de 500mb.

Los mapas sinópticos producidos manualmente representan las características de la superficie y las posiciones de pronóstico de altas y de bajas presiones, además de definir las condiciones presentes y futuras de viento y ola.

Los mapas de análisis incluyen el análisis en altura a 500mb, el análisis en superficie³⁶, el análisis del estado del mar en alta mar y aguas adyacentes y el análisis del estado del mar en alta mar. Los mapas de predicción se encuentran disponibles para 24, 48 y 96 horas para los productos de 500mb, mapa sinóptico, viento/altura de ola y periodo y dirección de ola.

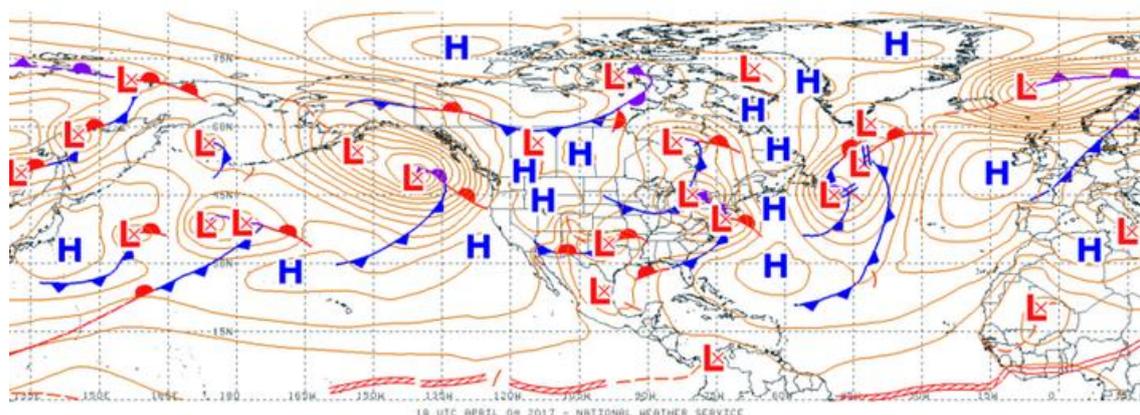


Figura 5.2: Ejemplo del mapa completo de Unified Analysis.
(<http://www.opc.ncep.noaa.gov/index.php>)

En los siguientes enlaces se puede acceder a los productos (gráficos y de texto) de cobertura del Atlántico norte:

http://www.opc.ncep.noaa.gov/shtml/A_brief.shtml

http://www.opc.ncep.noaa.gov/shtml/A_brief_text.shtml

Para imprimir los de la zona del Pacífico norte existen los siguientes enlaces:

³⁶ La información sobre los mapas de análisis de superficie se encuentra en http://www.opc.ncep.noaa.gov/product_description/abtsfc.shtml

http://www.opc.ncep.noaa.gov/shtml/P_brief.shtml

http://www.opc.ncep.noaa.gov/shtml/P_brief_text.shtml

La sección *Unified Surface Analysis*³⁷ se trata de la misma página que la página principal y a través de ella se puede acceder a la mayoría de contenidos de interés para el marino como son los productos atmosféricos (los análisis y las predicciones ordenadas para el Atlántico y para el Pacífico en forma de bucle) y los oceánicos. Se puede acceder a ella a través de:

<http://www.opc.ncep.noaa.gov/index.php>

Empezando por el mapa principal de análisis en superficie más reciente que se muestra en la sección, se pueden ampliar las zonas oceánicas del Pacífico norte, Pacífico tropical, Atlántico norte y Atlántico tropical además de las continentales de EEUU (costa oeste, oeste medio, costa este y Alaska), Golfo de México y Canadá. La última actualización de dicho mapa se encuentra en la base (ej. *Last Update: Saturday, 01-Apr-2017 03:46:14 UTC*).

La otra opción de la que se dispone más abajo, posibilita la obtención de los análisis anteriores de las zonas mencionadas más alguna más (dentro de la misma cobertura) al estilo de bucle con las opciones de 3/7/14 días con solo clicar en el texto correspondiente.

Por último, la sección *Product Loops*³⁸ es un índice de los últimos análisis y pronósticos disponibles para verlos en un bucle secuencial. Permiten que el usuario supervise la progresión y la evolución del tiempo actual y de los sistemas oceánicos seleccionando la categoría y el tipo de producto por medio de dos listas desplegables.

<http://www.opc.ncep.noaa.gov/Loops/>

³⁷ Una guía explicativa sobre la simbología utilizada se puede encontrar en <http://www.wpc.ncep.noaa.gov/sfc/UASfcManualVersion1.pdf>

³⁸ Una descripción acerca de la utilización de las funciones de los *loops* o bucles secuenciales se puede encontrar en <http://www.opc.ncep.noaa.gov/Loops/description.shtml>

Atlantic/Pacific Estas dos secciones disponen de los mismos apartados con la excepción del apartado *Gulf Stream Hazards / Wind Against Current* para el Atlántico. El resto de apartados lo componen *Base Maps, Off-shore/NAVTEX, High Seas, Surface Weather Analysis, Graphical Forecasts, Text Forecasts, Gridded Marine Products, Lightning Strike Density Hazards, Briefing y Experimental Products*.

En el apartado *Base Maps* se pueden encontrar múltiples mapas en blanco para análisis personal y Mapas informativos sobre la cobertura de algunos de los servicios meteorológicos, tanto para el Atlántico como para el Pacífico.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/basemaps/A_basemap.shtml

http://www.opc.ncep.noaa.gov/basemaps/P_basemap.shtml

Clicando en el apartado *Offshore/NAVTEX*, se accede a los archivos de texto, de voz, de análisis y de predicción transmitidos por las frecuencias de radio correspondientes, a todos los buques dentro de la cobertura que da el servicio. Se puede acceder a través de los siguientes enlaces:

http://www.opc.ncep.noaa.gov/shtml/A_offshore.shtml

http://www.opc.ncep.noaa.gov/shtml/P_offshore.shtml

Se explica brevemente a continuación, cada uno de los productos disponibles en ellos:

Marine Weather Discussion

Este producto producido cuatro veces al día, describe advertencias esperadas sobre áreas en las aguas costeras de los Océanos Atlántico y Pacífico y se utiliza para la coordinación con las Oficinas de Pronóstico del Servicio Meteorológico Nacional³⁹.

La narrativa puede resaltar la velocidad del viento y la altura de las olas en relación con los pronósticos actuales y la guía del modelo

³⁹ En el siguiente enlace, se puede encontrar un glosario con la mayoría de términos utilizados en las descripciones <http://www.opc.ncep.noaa.gov/Glossary.shtml>

además de describir las características sinópticas y de mesoescala que se espera afecten en las aguas mar adentro y adyacentes del Océano Atlántico Norte Occidental y el Océano Pacífico Norte Oriental.

La narrativa describe el tiempo, las velocidades del viento y los mares, centrándose principalmente en las condiciones durante las próximas 48 horas. Se hace hincapié en el tiempo y la emisión de advertencias.

El **MWD** incluye las tendencias futuras de las condiciones del viento y de la mar, los efectos de corrientes como la Corriente del Golfo en el Océano Atlántico y cómo la última guía del modelo de computadora está manejando características de importancia para el navegante.

El producto incluye además, niveles de confianza para los criterios de advertencia para tormentas extratropicales y características meteorológicas relacionadas que pueden producir tales condiciones.

Offshore Waters Text Forecasts

El pronóstico incluye una sinopsis para los próximos cinco (5) días que incluye una breve descripción de las características meteorológicas significativas y pronóstico sobre las aguas costeras a través del período de pronóstico. Se hace énfasis en el movimiento de pronóstico de los centro de baja presión, alta presión, frentes y sistemas tropicales. Cubre un área más pequeña y contiene información más detallada que el Pronóstico de alta mar.

El pronóstico incluye los vientos previstos, los mares, la visibilidad reducida y cualquier precipitación. El énfasis en el pronóstico es para sistemas con vientos máximos sostenidos (en un período de diez minutos) de más de 34 nudos y áreas con visibilidad reducida de menos de una milla marina.

El pronóstico *offshore* se emite cada seis horas para el Océano Atlántico Occidental y los Océanos del Pacífico Norte Oriental. Se

puede emitir antes cuando las condiciones actuales o esperadas difieren significativamente de las previsiones.

High Frequency Voice Broadcast for Offshore Waters (VOBRA)

El **VOBRA** (emisión de voz de alta frecuencia proporcionada por la Guardia Costera de los Estados Unidos) prevé a los navegantes una visión general de las condiciones marinas ambientales a gran escala durante los próximos cinco (5) días. La sinopsis incluye la misma información que los *Offshore Waters Text Forecasts*.

Se emite cada seis horas para el Océano Atlántico Occidental y Océanos del Pacífico Norte Oriental o se puede emitir más pronto cuando las condiciones actuales o esperadas difieren significativamente de las previsiones⁴⁰.

NAVTEX Coastal & Offshore Waters Text Forecasts

Esta previsión incluye tanto el área de las aguas costeras como las aguas submarinas. El pronóstico incluye los vientos previstos, los mares, la visibilidad reducida, y cualquier precipitación.

La sinopsis contiene la misma información que los productos anteriores. Con respecto a las advertencias de viento, se utilizan tanto los vientos máximos sostenidos durante un período de diez minutos como las rachas sostenidas o frecuentes a los criterios de advertencia en las zonas costeras dentro de un período de 24 horas.

Offshore Waters Graphic Products

Se trata del análisis manual y gráfico del estado de la mar producido durante intervalos de tres horas para las aguas costeras y adyacentes de los Océanos Atlántico y Pacífico. Las cartas representan el estado de la mar significativa analizado a intervalos de contorno de tres pies de altura. El valor central de las alturas significativas de las olas implica que las olas individuales más altas son posibles. Los datos

⁴⁰ Más información sobre el VOBRA se puede encontrar en la siguiente web <http://www.nws.noaa.gov/om/marine/hfvoice.htm>

proviene de buques y boyas y puede incluir datos de satélites en órbita polar como los datos de *JASON* que muestran los valores del estado del mar en franjas estrechas bajo la trayectoria orbital. En áreas de datos escasos, se utiliza el modelo de orientación y la continuidad para hacer una estimación del estado del mar significativo.

El estado del mar reportado de boyas y naves está en pies y está coloreado verde. El período de oleaje predominante es en segundos y es de color azul brillante. La dirección de la mar de fondo se muestra por medio de flechas blancas, y la velocidad y la dirección del viento son mostradas por las flechas amarillas⁴¹.

Se pueden encontrar los últimos análisis gráficos y con imágenes por satélite (con filtro visible y filtro infrarrojo) en formatos *TIF* y *GIF* para las 00Z/06Z/12Z/18Z.

Finalmente se dispone también de los pronósticos gráficos de 500mb, superficie y viento y ola (con pronóstico de hielos) para 24 y 36 horas elaborados a partir del análisis 00Z en los mismos formatos *TIF* y *GIF*.

El siguiente apartado se trata del *High Seas* se pueden encontrar los pronósticos de texto de 48 horas que se preparan cada seis (6) horas tanto para el Pacífico Norte como para el Atlántico Norte. Las condiciones iniciales, basadas en el análisis superficial, la interpretación satelital y la SSM/I describen vientos y mares asociados con ciclones extratropicales y tropicales significativos a través del área de advertencia. La primera parte del pronóstico de alta mar describe *warnings* de sistemas con vientos sostenidos de 34 nudos o más. Se describen las tendencias esperadas, el movimiento y la posición y las condiciones de 24 horas, 48 horas de pronóstico.

La segunda parte del *High Seas Forecast* consiste en la sección *synopsis and forecast*, que describe los sistemas meteorológicos que no cumplen los criterios de advertencia. Destacan en esta sección los sistemas meteorológi-

⁴¹ Más información sobre la simbología utilizada en los productos gráficos se puede encontrar en http://www.opc.ncep.noaa.gov/product_description/PLBZ04.GIF

cos que producen vientos de al menos 25 nudos y mares de ocho (8) pies. El mensaje describe las posiciones de pronóstico iniciales, 24 horas y 48 horas junto con las condiciones asociadas, si es apropiado. Además, pueden describir áreas de niebla densa que reducen la visibilidad por debajo de 1 milla náutica, áreas de formación de hielo significativo y las condiciones esperadas para las próximas 48 horas.

Los productos meteorológicos gráficos disponibles en esta sección incluyen los análisis y los pronósticos elaborados a partir de los resultados del modelo para 500mb, superficie, viento/ola y hielos y periodo y dirección de ola.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/shtml/A_HighSeas.shtml

http://www.opc.ncep.noaa.gov/shtml/P_HighSeas.shtml

En el apartado *Surface Weather Analysis* se pueden adquirir los productos gráficos de análisis de superficie e imágenes satélite de análisis de viento y ola de las zonas Atlántico Norte y Pacífico Norte de hasta 14 días previos en la opción de bucles secuenciales de 3/7/14 días.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/Atl_analysis.shtml

http://www.opc.ncep.noaa.gov/Pac_analysis.shtml

En el apartado *Graphical Forecasts* se puede acceder a los pronósticos marinos de las zonas Atlántico Norte (*Atlantic Graphical Forecasts*) y Pacífico Norte (*Pacific Graphical Forecasts*) en donde se pueden adquirir los pronósticos en forma gráfica de 500mb, superficie, viento y ola y periodo y dirección de ola a 24, 48 y 96 horas de previsión a partir de los últimos análisis y en la opción de bucles secuenciales de 3/7/14 días vista.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/Atl_graphical_forecasts.shtml

http://www.opc.ncep.noaa.gov/Pac_graphical_forecasts.shtml

El apartado *Text Forecasts* contiene la misma información que los apartados *Offshore/NAVTEX* y *High Seas* pero separada para las zonas del Atlántico Norte (*Atlantic Text Forecasts*) y Pacífico Norte (*Pacific Text Forecasts*). Siendo así, se pueden consultar los productos de *Marine Weather Discussion*, *Offshore*

Waters Forecasts, NAVTEX Coastal & Offshore Waters Forecasts, High Frequency Voice Broadcast for Offshore Waters (VOBRA) y High Seas Forecast para cada océano.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/Atl_text.shtml

http://www.opc.ncep.noaa.gov/Pac_text.shtml

En *Gridded Marine Products* se pueden obtener archivos numéricos en fichero **GRIB2**⁴², lenguaje **XML** a través de SOAP (Simple Object Access Protocol) o gráficos a través del navegador web con la información de viento y dirección en superficie a 10 metros (en nudos), ráfagas de viento en superficie a 10 metros, la altura de ola significativa (en pies) y los peligros marinos.

Estos elementos están disponibles en una resolución espacial de cinco kilómetros y una resolución temporal de tres (3) horas hasta 144 horas o seis (6) días. Las mallas son producidas por meteorólogos utilizando el **GFE (Graphic Forecast Editor)** de AWIPS. La cuenca del Atlántico y las redes de cuenca del Pacífico están disponibles para los días de previsión 1-6 aproximadamente a las 0420UTC, las 1020UTC, las 1620UTC y las 2220UTC cada día⁴³.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/opc_gridded_marine.php

⁴² NCEP proporciona algunas utilidades de software para usuarios que necesitan convertir y manipular conjuntos de datos **GRIB2**. Aunque no son compatibles, pueden descargarse en <http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/codes/GRIB2/>

⁴³ Más información disponible en http://www.nws.noaa.gov/os/notification/pns14offshore_highseas_aab.htm

Para finalizar con las secciones *Atlantic/Pacific de Marine weather*, de entre los apartados *Lightning Strike Density Hazards*, *Briefing* y *Experimental Products*, la sección *Briefing* ya mencionada donde se puede acceder a los productos para su impresión (ver página 23), es la de interés para el marino. Cabe mencionar la sección *Probabilistic Wind Speed Guidance* dentro de los *Model Data Loops* de los *Experimental Products*. En ella el OPC pone a disposición, con carácter experimental, imágenes de predicción que representan la probabilidad de que los vientos a 10 metros alcancen o superen varios umbrales (por ejemplo, que sean mayores o iguales a 34 nudos). Las probabilidades se producen para las zonas del Atlántico, el Pacífico y el Ártico a partir dos modelos, el NAEFS (*North American Ensemble Forecast System*) y el GEFS (*Global Ensemble Forecast System*) y con predicciones de hasta 384 horas.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/prob_guidance.php?model=naefs&basin=atl&cycle=00&plot=15&loop=0#top

http://www.opc.ncep.noaa.gov/prob_guidance.php?model=gefs&basin=atl&cycle=00&plot=15&loop=0#top

Mobile Pages El sitio web adaptados para plataformas móviles ofrece los siguientes productos para los océanos del Atlántico Norte y del Pacífico Norte: pronósticos de texto de alta mar, *offshore* y NAVTEX, discusiones del clima marino, gráficos de previsión de 500 mb, análisis de superficie y pronósticos, análisis de vientos y olas y pronósticos, análisis del estado del mar, período y dirección de ola.

<http://www.opc.ncep.noaa.gov/mobile.php>

GRIB/GRIB2 Ver página 31 para más información.

Product Guides Se accede a una lista de diferentes guías y explicaciones de utilidad para poder navegar en los contenidos de la web.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/product_guides.shtml

Product Archive Existen varios métodos para obtener gráficos de archivo antiguos del OPC. Los bucles los últimos 14 días están disponibles para la mayoría de los productos de análisis y pronóstico. Está disponible un archivo a corto plazo (14 días) de productos gráficos en el servidor del OPC, las cartas archivadas están ahora disponibles en línea en la web del NCDC (*National Climate Data Center*).

La página web de productos de texto de los NCEI (*National Centers for Environmental Information*) es la única fuente oficial conocida para los productos de texto OPC archivados.

<https://nomads.ncdc.noaa.gov/ncep/NCEP>

<https://www.ncdc.noaa.gov/has/HAS.FileAppRouter?datasetname=9957ANX&subqueryby=STATION&applname=&outdest=FILE>

Fax Schedules Se trata de los productos transmitidos a través de alta frecuencia (HF) por medio del servicio de transmisores para radiofacsimile de la **USCG** (*United States Coast Guard*) de Marshfield, Massachusetts⁴⁴. La señal de ondas cortas decamétricas es decodificada por los receptores de FAX meteorológicos a bordo de buques en el área de pronóstico. El área de pronóstico incluye el Atlántico Norte, Pacífico Norte y las aguas de alta mar⁴⁵.

Marine Weather Sites Da acceso a otras webs de interés meteorológico.

Satellite Imagery En esta sección de gran interés, se pueden obtener tanto análisis de imágenes satélite previas de 00/06/12/18Z para las zonas del Atlántico y del Pacífico en formato GIF como imágenes con diferentes filtros (visible, infrarrojo, Dvorak y vapor de agua) de los satélites GOES, METEOSAT y MTSAT cada hora (a excepción de las imágenes de METEOSAT que son cada seis horas) de forma unitaria a en modo bucle secuencial.

⁴⁴ Se puede encontrar información sobre la codificación utilizada en los análisis preliminares de superficie en

http://www.opc.ncep.noaa.gov/product_description/sfcprelim.html

⁴⁵ Existe un documento muy interesante donde se recogen los programas mundiales de radiodifusión por radiofacsimile marinos

<http://www.nws.noaa.gov/om/marine/rfax.pdf>

http://www.opc.ncep.noaa.gov/shtml/satellite_imagery.shtml

Verification Es una herramienta de interfaz que permite comparar el análisis superficial de las últimas semanas con los pronósticos de superficie válidos de 48 y 96 horas.

<http://www.opc.ncep.noaa.gov/Loops/GraphicalVerif.php>

5.1.4 Sección *Ocean Products*

El apartado *Ocean Products* se divide en tres (3) secciones: *Ocean Analysis*, *Ocean Forecasts* y *Model Evaluation*. Se analizarán los dos primeros únicamente, al tratarse de los más interesantes.

Ocean Analysis Contiene por una parte enlaces a los datos de la temperatura de la superficie del mar (grados Celsius) obtenidos por el satélite GOES para los océanos Atlántico occidental y Pacífico oriental. Hay cuatro campos de datos disponibles que cubren cada una de las doce regiones y todas las regiones combinadas: la temperatura de la superficie del mar, la temperatura de la superficie del mar (mejorada), la edad de las observaciones y el número de observaciones.

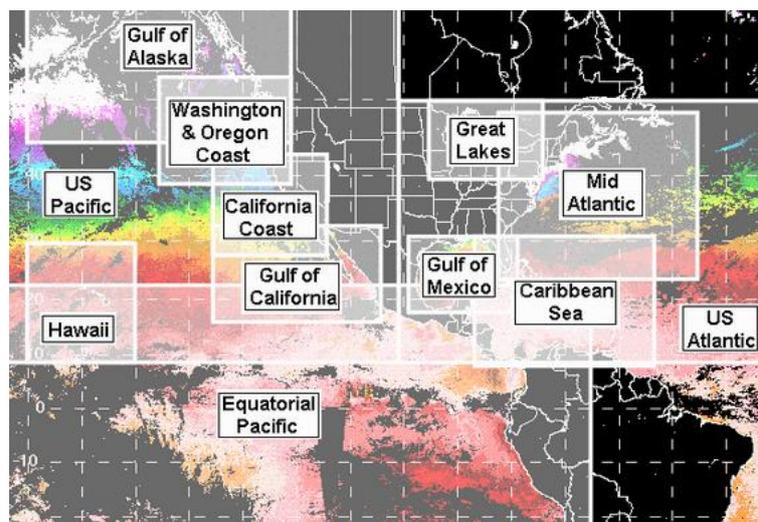


Figura 5.3: Ejemplo de pie de foto

Los campos de datos se muestran como imágenes compuestas calculadas a partir de un promedio de datos de satélite infrarrojo GOES recogidos cada hora durante los últimos cinco (5) días sumando un total de 120 fotogramas. Las áreas sin datos válidos durante los cinco (5) días debido a la persistente nubosidad se muestran en negro.

Los campos SST (*Sea Surface Temperature*) mejorados utilizan configuraciones dinámicas de barras de colores que permiten una mayor resolución para regiones con rangos pequeños de temperatura.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/sst/newSST/GOES_SST.shtml

Por otra parte hay acceso a los datos del análisis de las características de la Corriente del Golfo realizados por la NOOP (*Naval Oceanographic Office Products*) para las zonas del Golfo de México y el Atlántico Norte tanto en imágenes en blanco y negro y a color como en formato ASCII.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/ocean_analysis.shtml

Ocean Forecasts A destacar en esta sección los apartados de Global Ocean Model Currents y Global Ocean Sea Surface Temperatures.

Para ambos casos (corrientes marinas y temperaturas de la superficie del mar), se dispone de dos modelos:

El **RTOFS Global** (*Global Real-Time Ocean Forecast System*), que se basa en la configuración de la **NAVO** (*Naval Oceanographic Office*) de 1/12 grados de remolinos que resuelve el modelo global de **HYCOM** (*HYbrid Coorditanes Ocean Model*) y se inicializa diariamente con las condiciones iniciales originadas de la **NAVO** utilizando el sistema de **NCODA**. El modelo **RTOFS Global**⁴⁶ se alimenta con los vientos operativos del **GFS** del **NCEP**.

⁴⁶ Para más información sobre el modelo y la obtención de más datos de interés existe la web <http://polar.ncep.noaa.gov/global/>

Los modelos **NCOM** regionales (**Navy Coastal Ocean Model**) tienen una resolución de 1/36 grados (3 km). Los modelos regionales que se encuentran aquí incluyen la Costa Este de los Estados Unidos, la Costa del Sur de California, las costas de Hawai y el Golfo de México y los Mares Caribes. Incluye datos de **SSH**, **SST** y observaciones in situ. Se alimenta por medio de las condiciones de frontera (*boundary conditions*) del modelo global **NGOM** (**Navy Global Ocean Model**) operacional de la Armada de EEUU desarrollado por el Laboratorio Naval de Investigación y mantenido por la **NOO** (**Naval Oceanographic Office**).

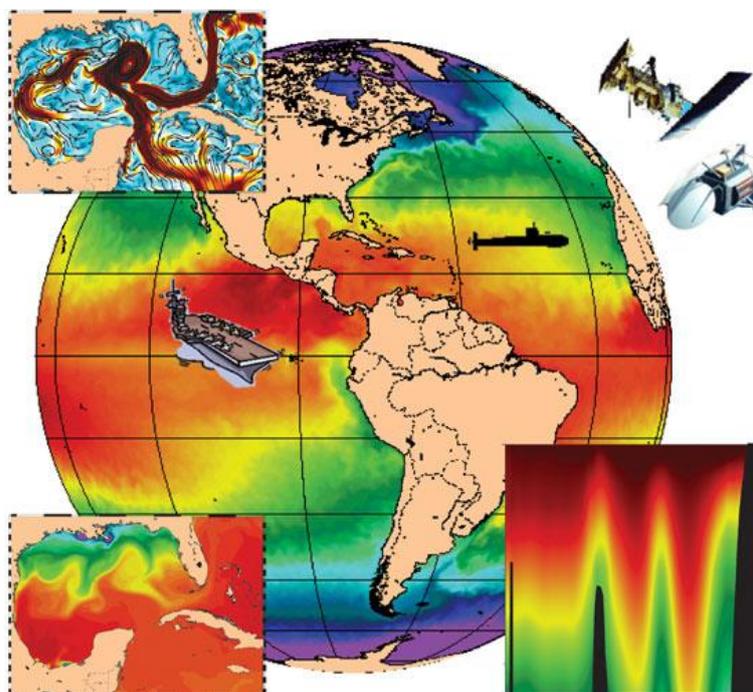


Figura 5.4: El modelo NGOM asimila las mediciones satelitales de temperatura y elevación de la superficie del mar para producir pronósticos de temperatura, salinidad, elevación y corrientes apoyadas por las operaciones de la Marina⁴⁷

Por medio de los siguientes enlaces se puede acceder directamente a los datos del modelo de forma gráfica. En la misma web se pueden encontrar enlaces para la descarga de los datos en formato GRIB2 desde diferentes fuentes.

http://www.opc.ncep.noaa.gov/Current_fcsts.shtml

http://www.opc.ncep.noaa.gov/SST_fcsts.shtml

⁴⁷ Para más información se puede consultar el siguiente link
<https://www.nrl.navy.mil/media/news-releases/2006/first-global-ocean-model-developed-at-nrl-stennis>

5.2 WEB DE LA MET OFFICE

5.2.1 Información general

Se trata de un clásico, con una experiencia más que demostrada de más de 100 años estudiando la ciencia de la meteorología. Este análisis se centrará especialmente en el apartado de pronósticos marinos de alta mar y de aguas costeras, avisos de vientos fuertes y de tormentas.

En el Reino Unido, la **MCA** (*Maritime Coastguard Agency*) es responsable de la provisión de Información de Seguridad Marítima a los buques en la mar, que incluye la difusión de advertencias y pronósticos (incluyendo advertencias de navegación). La *Met Office* realiza advertencias y prepara las previsiones de rutina para su difusión en nombre de la **MCA**.

<http://www.metoffice.gov.uk/>

5.2.2 Productos

Entre los productos disponibles en la web, se analizarán los mapas sinópticos (*Surface pressure charts*), los pronósticos generales (*Extended outlook*), los pronósticos de alta mar y tormentas (*High seas and storms*), los pronósticos de aguas costeras y fuertes brisas (*Inshore waters forecast and strong winds*), las últimas observaciones marinas (*Latest marine observations*) y los pronósticos de navegación y advertencias de temporales (*Shipping forecast and gale warnings*)⁴⁸.

<http://www.metoffice.gov.uk/public/weather>

<http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/marine>

⁴⁸ Una guía con toda la simbología y la terminología utilizada en la web se puede encontrar en <http://www.metoffice.gov.uk/guide/weather/symbols#pressure-symbols>

5.2.3 Mapas sinópticos

Los mapas sinópticos⁴⁹ se ofrecen hasta cinco días antes para la zona de Europa y el Atlántico nororiental.

Un mapa de análisis (*Analysis chart*), que muestra el estado observado del tiempo, se emite junto con los pronósticos (*Forecast chart*) con hasta cinco días de antelación. Estos se actualizan cada 12 horas alrededor de las 0730UTC y 1930UTC, con la excepción de los mapas para los días cuatro y cinco que sólo se emiten una vez al día a las 1930UTC. La razón por la que estos dos gráficos sólo se emiten una vez al día es porque el patrón de presión superficial pronosticado cambiará más significativamente debido a la incertidumbre en este período de tiempo más largo y hay un valor limitado en actualizarlo cada 12 horas. Los mapas se pueden visualizar individualmente o a modo de bucle secuencial jugando con la barra en la parte inferior de los gráficos.

La información gráfica de los mapas que ha sido tratada por un meteorólogo incluye las isobaras, los centros de alta y baja presión y los sistemas frontales. Se puede obtener tanto los gráficos a color como en blanco y negro, con la única diferencia de disponer éstos últimos de una escala adicional para determinar el valor del viento geostrófico.

<http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/surface-pressure/#?tab=surfacePressureColour&fcTime=1491865200>

<http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/surface-pressure/#?tab=surfacePressureBW&fcTime=1491865200>

5.2.4 Sección *Extended outlook*

Perspectivas se publican una vez al día, a las 2300GMT y cubren los próximos tres (3) a cinco (5) días. Cubre la zona de

⁴⁹ Existe una magnífica guía de interpretación de los mapas meteorológicos en http://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/mohippo/pdf/library/factsheets/factsheet_11_weather_charts.compressed.pdf

aguas que rodean las islas británicas desde la costa W de la Península Ibérica hasta la costa SE de Islandia y se divide en tres áreas: *Cullercoats*, *Portpatrick* y *Niton*. Estas tres áreas reflejan las áreas de cobertura de los transmisores Navtex del Reino Unido, que se superponen en algunas áreas.

La información de tipo texto de los pronósticos contiene los detalles de la probabilidad de temporales o de tormentas y una sinopsis general y una previsión general para el área de la cobertura de cada transmisor de Navtex.

<http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/marine-extended-outlook>

5.2.5 Sección *High seas and storms*

Las predicciones de alta mar son emitidas dos veces al día a las 0930 y 2130GMT y cubren las próximas 24 horas y las perspectivas para las siguientes 24 horas.

Cubre la parte del Atlántico Norte conocida como *Metarea I* que está dividida en doce zonas marítimas, seis de las cuales también se encuentran en el apartado *Shipping forecast*.

Contiene una sinopsis general y pronósticos de la zona marítima con previsión de la dirección y fuerza del viento, el tiempo y la visibilidad para las próximas 24 horas con una perspectiva para las siguientes 24 horas.

Las advertencias de temporales duros (vientos de fuerza 10 o más) se emiten según sea necesario durante todo el día, y se resaltan en color rojo las áreas afectadas en el mapa general.

<http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/marine-high-seas>

5.2.6 Sección *Inshore waters and strong winds*

Las previsiones para aguas costeras hasta 12 millas afuera, se emiten cuatro veces al día y cubren un período de 24 horas de 0000, 0600, 1200 y 1800UTC.

Las aguas costeras alrededor de las islas británicas se dividen en 19 áreas mostradas en el mapa y el pronóstico contiene detalles de la dirección y la fuerza del viento, el tiempo, la visibilidad y el estado de la mar.

Las fuertes brisas costeras de fuerza seis (6) o más, se muestran con el pronóstico de aguas costeras resaltando la zona de la costa en rojo en el mapa.



Figura 5.5: Zonas costeras del Reino Unido y ejemplo de aviso de brisas costeras para la zona de Great Ormes Head a Mull of Galloway y la Isla de Man

<http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/marine-inshore-waters>

5.2.7 Sección *Latest marine observations*

Se puede seleccionar las observaciones de las últimas 24 horas de una boya, estación fija, estación de tierra o un buque faro en una zona designada donde se muestran los datos de tiempo, fuerza y dirección del viento, visibili-

dad, humedad relativa, presión atmosférica, temperatura del aire, temperatura de la mar, punto de rocío y altura y periodo de ola.

Se encuentran disponibles 18 boyas, cinco (5) buques faro, dos (2) estaciones fijas en islas y 31 estaciones de tierra repartidas por diferentes puntos estratégicos.

<http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/marine-observations#?tab=marineObsMap>

5.2.8 Sección *Shipping forecast*

El pronóstico se emite cuatro veces al día a las 2300, 0500, 1100, 1700UTC y cubre un período de 24 horas de 0000, 0600, 1200 y 1800UTC respectivamente.

Las aguas alrededor de las Islas Británicas se dividen en 31 áreas marítimas que se muestran en un mapa.

El pronóstico contiene detalles de las advertencias en vigor, una sinopsis general y pronósticos de la zona marítima con previsión de la dirección y la fuerza del viento, el tiempo y la visibilidad.

Las advertencias de temporal se emiten según sea necesario durante todo el día y las zonas marítimas se resaltan de color rojo en el mapa.

<http://www.metoffice.gov.uk/public/weather/marine-shipping-forecast#?tab=marineObsMap>

5.3 WEB DE MÉTEO FRANCE

5.3.1 Información general

Météo-France es un establecimiento público administrativo además del servicio oficial de meteorología y climatología en Francia. Como tal, tiene las responsabilidades de la seguridad meteorológica de personas y bienes del Estado. Algunas responsabilidades de *Météo-France* incluyen la previsión y el estudio de las condiciones meteorológicas y la condición o estado de la su-

perficie del mar junto con las emisiones de vigilancia meteorológica a los territorios franceses de la metrópoli y en el extranjero.

Con un presupuesto de 353 millones de euros (en 2014) las orientaciones estratégicas de las misiones y actividades de Météo-France se establecen en el marco de los objetivos y contratos de rendimiento con el État¹⁴.

Su sede principal se encuentra en Saint-Mande. El servicio en el cuenta con siete departamentos interregionales en la Francia metropolitana y cinco en el extranjero, en Martinica (que garantiza la gestión y coordinación de Guadalupe, al norte de las islas de San Martín y San Bartolomé y Guyana), en Nueva Caledonia, en la Polinesia francesa, en Reunión y en San Pedro y Miguelón.

Para llevar a cabo sus boletines de noticias, los pronosticadores analizan las salidas de los diferentes modelos de predicción y difunden los resultados del modelo a los servicios meteorológicos.

<http://www.meteofrance.fr/>

<http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-france/metropole>

<http://services.meteofrance.com/outremer.html>

<http://www.meteofrance.gp/>

<http://www.meteofrance.re/>

<http://www.meteofrance.yt/>

<http://www.meteo.nc/>

<http://www.meteo.pf/>

<http://www.meteofrance.pm/>

5.3.2 Productos⁵⁰

En la web, se pueden consultar previsiones costeras (*Prévisions côtières*), boletines especiales de alta mar (*Prévisions sécurité expertisées*), mapas sinópticos (*Cartes de fronts*), mapas de previsión de viento y de mar (*Cartes de prévisions*), animaciones de imágenes por satélite (*Animation Satellite*) y los datos de las simulaciones numéricas (*Simulations numériques météorologiques*).

Para simular el comportamiento de la atmósfera, *Météo-France* desarrolla y utiliza dos modelos numéricos de predicción del tiempo principalmente:

El modelo global **ARPÈGE** (*Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle*) con una resolución que varía de 7,5 km en el continente hasta los 60 km en los polos opuestos, se utiliza para predecir la evolución de los fenómenos a gran escala (depresiones, anticiclones) y para la previsión de hasta 3 días en el continente y en los territorios de ultramar.

Entre los modelos regionales, el más conocido es **AROME** (*Application de la Recherche à l'Opérationnel à Méso-Échelle*) que simula el estado de la atmósfera sobre Francia con una malla que de 1,3km.

5.3.3 Prévisions côtières

En este apartado se accede a los datos de viento y mar para las zonas de puertos que van desde la costa hasta dos (2) millas mar adentro y las zonas costeras desde la costa hasta 20 millas mar adentro de todos los territorios franceses mencionados anteriormente. En el caso de Francia, también se pueden consultar los partes para la costa de Córcega.

⁵⁰ Una guía marina con la explicación de todos los medios meteorológicos, los horarios, radiofrecuencia, el contenido de los boletines emitidos por VHF, SSB, NAVTEX, radio, satélite, fax, teléfono e Internet además de los mapas de las áreas marinas, la escala de *Beaufort*, el estado de la mar y un léxico francés-Inglés se puede encontrar en <http://www.meteofrance.fr/publications/nos-collections/guides-pratiques/guide-marine>

El formato mostrado es una tabla con los datos de viento a 10m (*Vent à 10m*) dividido en dirección en cuadrantales, fuerza y escala Beaufort (*Direction, Vitesse, Echelle Beaufort*), la mar total (*Mer totale*) dividida en altura significativa, estado de la mar y altura máxima (*Hauteur significative, État de la mer, Hauteur max. sur 6h*) junto con la altura significativa de la mar de viento (*Mer du vent*), y la dirección, el periodo (*Période*) y la altura significativa de ola (*Houle*).

Las previsiones se muestran para intervalos de seis (6) horas y hasta 66 horas.

En el caso de Nueva Caledonia, la Polinesia francesa y en San Pedro y Miquelón el formato cambia ligeramente.

<http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-marine/cotes#>

<http://www.meteofrance.gp/previsions-meteo-marine-antilles-guyane/cotes>

<http://www.meteofrance.re/previsions-meteo-marine-reunion/cotes>

<http://www.meteofrance.yt/previsions-meteo-marine-mayotte/cotes>

5.3.4 Prévisions sécurité expertisées

Se trata de información en texto sobre las zonas costeras y alta mar (dividida en alta mar para siete días y las METAREAS) en el formato habitual de este tipo de retrasmisiones.

<http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-marine/bulletin/>

<http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-marine/bulletin/>

<http://www.meteofrance.re/previsions-meteo-marine-reunion/bulletin>

<http://www.meteofrance.yt/previsions-meteo-marine-mayotte/bulletin>

5.3.5 Cartes de fronts

Se encuentran productos de mapas sinópticos en color de previsión cada seis (6) horas y hasta 42 horas para la zona del Atlántico Norte, Atlántico Medio e Índico Sur con la opción de visualización como bucle secuencial.



Figura 5.6: Leyenda de símbolos para los sistemas frontales y las perturbaciones tropicales empleados en los mapas de Météo-France.

<http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-marine/carte-frontologie/fronts/atlantique>

http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-marine/carte-frontologie/fronts/proche_atl

<http://www.meteofrance.re/previsions-meteo-marine-reunion/carte-frontologie>

5.3.6 Cartes de prévisions

Se trata de mapas de previsión a color de fuerza y dirección de viento e isobaras, altura y dirección de la mar total y altura y dirección de la ola cada seis (6) horas y hasta 72 horas. Se cubren las zonas del Atlántico Norte, Mediterráneo Occidental, Sudoeste del Océano Índico y el Canal de Mozambique.

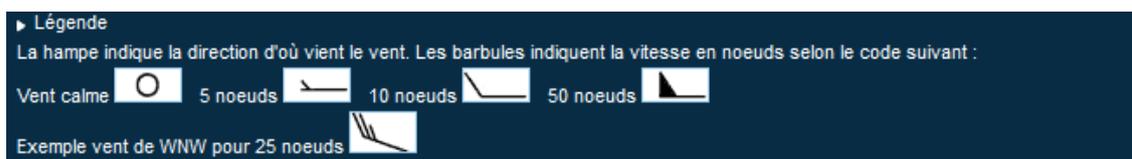


Figura 5.7: Leyenda de símbolos para el viento empleados en los mapas de Météo-France.

<http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-marine/marine/vent/atlantique>

<http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-marine/marine/vent/mediterran>

<http://www.meteofrance.yt/previsions-meteo-marine-mayotte/marine/vent/sudouestoceanindien>

<http://www.meteofrance.yt/previsions-meteo-marine-mayotte/marine/vent/canalmozambique>

5.3.7 Animation Satellite

Animaciones de la últimas imágenes satelitales de prácticamente todo el planeta y ampliable para las zonas de Norteamérica, Centroamérica, Sudamérica, Europa, África, Asia y Oceanía.

<http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-monde/animation/satellite/monde>

También se pueden consultar imágenes a mayor escala de algunas de las zonas francesas de ultramar en las webs correspondientes.

5.3.8 Simulations numériques météorologiques

Son los resultados en bruto de las simulaciones de los modelos **AROME** (zona de la Francia metropolitana y parte de Europa con una resolución de kilómetros) y **ARPÈGE** (para el mundo y la zona Europa-Atlántico) y.

Se pueden mostrar hasta cinco parámetros para cada uno de estos modelos numéricos: nubosidad (*nébulosité* o *couverture nuageuse*), precipitación (*pluie et neige*), temperatura, viento medio (*le vent moyen*) y las ráfagas de viento (*les rafales de vent*).

Los mapas se actualizan dos veces al día, a las seis (6) y a las 18 horas UTC.

<http://www.meteofrance.com/simulations-numeriques-meteorologiques/monde>

<http://www.meteofrance.com/simulations-numeriques-meteorologiques/europe-atlantique>

<http://www.meteofrance.com/simulations-numeriques-meteorologiques/france>

5.4 WEB DE AEMET

5.4.1 Información general

AEMET, cuyo objetivo básico es la prestación de servicios meteorológicos que sean competencia del Estado, fue creada sustituyendo al antiguo **INM** (Instituto Nacional de Meteorología). Se encuentra adscrita al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente a través de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente.

Según su Decreto de creación tiene personalidad jurídica pública, patrimonio y tesorería propios, y autonomía de gestión dentro de los límites establecidos por la Ley de Agencias Estatales. Además de ejercer la autoridad meteorológica, representa a España ante los organismos internacionales de meteorología, que fundamentalmente son la **OMM**, la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), y el **ECMWF**.

<http://www.aemet.es/es/portada>

5.4.2 Productos

Los productos destacados de la web incluyen las observaciones radar (éstas no se analizarán) y por satélite de la zona de la Península Ibérica y Europa respectivamente, un servicio de predicción marítima para aguas costeras y alta mar, un servicio meteorológico para la navegación marítima denominado **MeteoNav** y el acceso a los datos en bruto de los modelos numéricos **HIRLAM-AEMET** y **CEPPM**.

http://www.aemet.es/es/lineas_de_interes/por_sectores/maritima

5.4.3 Mapas con frentes

Se pueden obtener mapas tratados⁵¹ con la configuración de la presión en superficie usando isobaras, áreas de alta (A, a) y baja (B, b) presión y los frentes en Europa y el Atlántico Norte.

El mapa de análisis presenta el estado de la atmósfera a la hora correspondiente y los fenómenos más relevantes observados en España. El resto son mapas previstos cada 12 horas y a tres (3) días vista. Se pueden consultar tanto de forma individual como a modo de bucle secuencial.

http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/mapa_frentes

5.4.4 Servicio de predicción marítima

En esta página se presentan las condiciones meteorológicas para alta mar y zonas costeras adaptadas a las necesidades del marino⁵².

Además de la predicción en formato texto⁵³, se presenta información gráfica con mapas de viento y altura de oleaje con animación de imágenes. Los avisos tienen un alcance de 48 horas, la predicción en texto de 24 horas y los mapas amplían la predicción hasta cuatro (4) días.

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/maritima>

Costas Al seleccionar cualquier zona se muestra información sobre los avisos de viento de fuerza siete (7) o más, mar total de 4m en el Atlántico y 3m en el Mediterráneo, tormentas o precipitaciones muy fuertes, visibilidad inferior a una (1) milla náutica para las próximas 24 horas. Las zonas costeras se dividen en la costa de Andalucía Occidental y Ceuta, la costa de Andalucía

⁵¹ La simbología utilizada en los mapas con frentes se encuentra explicada en http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/prediccion/mapas_frentes/Simbolos_mapas_frentes.pdf

⁵² Existe una Guía de Meteorología Marítima donde se puede encontrar resumida toda la información necesaria <http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/maritima/guiamaritima.pdf>

⁵³ Se puede encontrar un glosario de términos en http://www.aemet.es/es/conocermas/maritima/detalles/Glosario_de_terminos

Oriental y Melilla, la costa de Asturias, Cantabria y País Vasco, la costa de Cataluña, la costa de Galicia, la costa de las Islas Baleares, la costa de las Islas Canarias y la costa de Valencia y Murcia.

La predicción en formato texto incluye información sobre las condiciones previstas en las 24 horas siguientes de viento, oleaje, visibilidad, y meteoros significativos. En el formato gráfico se pueden consultar los mapas de viento y de oleaje previsto con un alcance de hasta cuatro (4) días.

También se informa de si para esa zona se esperan condiciones de aviso de viento y/o oleaje para el periodo de 24 a 48 horas.

La información se actualiza 1200 y 2000 h.o.p.⁵⁴ y en cualquier momento en que se considera necesario.

Alta mar Muestra el resumen de las características más destacadas de la situación de masas de aire y sistemas de presión, así como la evolución prevista de los mismos.

El mapa está dividido en tres zonas (las zonas en rojo muestran los avisos en vigor): Atlántico al sur de 35°, Mediterráneo y Atlántico al norte de 30°. Los avisos se dan cuando se espera que, en las 48 horas siguientes en dicha zona, los vientos alcancen o superen la fuerza ocho (8) en el Atlántico y la fuerza siete (7) en el Mediterráneo.

La predicción en formato texto incluye información sobre las condiciones previstas en las 24 horas siguientes de viento, oleaje, visibilidad, y meteoros significativos. En el formato gráfico se pueden consultar los mapas de viento y de oleaje previsto con un alcance de hasta cuatro (4) días.

La información (en texto) se actualiza a las 0800 y 2000UTC y en cualquier momento en que se considere necesario.

En los mapas se puede obtener información sobre la mar total, la presión en superficie y el viento y la mar de viento.

⁵⁴ Hora oficial peninsular

En el caso de la mar total, el color indica la altura significativa del total de mar, que es el mar resultante de la combinación de mar de viento y de fondo, y la escala de colores viene a la derecha. Las flechas se refieren a la mar de viento (flecha gris) y la mar de fondo (flecha blanca). La longitud de dichas flechas es proporcional a la altura relativa de cada componente respecto a la altura del mar total, con lo que da una idea de qué de cuál de ellas predomina, y el sentido la flecha indica la dirección de propagación del oleaje.

5.4.5 Servicio meteorológico para la navegación marítima MeteoNav

Se trata de un servicio que permite obtener predicciones de interés para la navegación marítima, costera u oceánica a lo largo de una trayectoria definida por el usuario, quien decide las fechas y horas de salida y de llegada, el lugar de salida y llegada, y, opcionalmente, los puntos de paso.

El sistema supone una velocidad constante de desplazamiento a la embarcación. Ésta se calcula en función de los datos suministrados de salida y de llegada. La trayectoria se calcula uniendo los puntos seleccionados siguiendo el camino más corto sobre la superficie terrestre (ortodrómica). El sistema no elige la ruta a seguir, se limita a unir los puntos de paso determinados por el usuario, independientemente de si va por tierra o por mar.

La aplicación es interactiva con el usuario, pudiendo refrescarse continuamente y trabajar con la precisión geográfica deseada aumentando igualmente la resolución espacial y temporal de los datos.

Los datos mostrados en este Servicio son resultado de un postproceso de las salidas numéricas del modelo de olas del **ECMWF**. En función del área solicitada, se utiliza el modelo de área global, disponible a escala global (excepto el entorno de los polos), y con un alcance máximo de 10 días, o el de área limitada, que tiene una mayor resolución, pero que sólo está disponible para el área que abarca desde 5°N a 90°N, y de 98°W a 56°E, con un alcance máximo de cinco (5) días.

Los modelos se actualizan dos (2) veces al día, en torno a las 0800 y las 2000UTC. Como con cualquier predicción, se recomienda renovar los pronósticos conforme vayan actualizándose los modelos.

La información obtenida del modelo numérico de oleaje se resume en un cuadro con los siguientes datos: fecha y hora, latitud y longitud, dirección e intensidad del viento, dirección, altura significativa y periodo de la mar compuesta, dirección, altura significativa y periodo de la mar de viento y dirección, altura significativa y periodo de la mar de fondo.



Figura 5.8: Leyenda de símbolos de viento y ola empleados en el servicio **MeteoNav**.

Finalmente, existe la posibilidad de imprimir todos los datos del pronóstico en forma de listado.

<http://meteonav.aemet.es/MeteoNav/>

5.4.6 Los modelos numéricos

La web de **AEMET** pone a disposición también los mapas con los datos numéricos se obtenidos a partir de las pasadas de las 0000 y 1200UTC del proyecto de modelo numérico regional **HIRLAM** (*High Resolution Limited Area Model*) y del modelo numérico global **ECMWF** o **CEPPM** (*Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio*).

Además, existe una colaboración con el consorcio **ALADIN**.

El modelo que se presenta aquí es la versión 7.2 con 16km de resolución horizontal y 40 niveles en la vertical. La previsión disponible es de 96 horas, con gráficos cada seis (6) horas.

Se presentan los mapas de presión reducida al nivel del mar, así como los correspondientes a las superficies isobáricas de 850hPa, 500hPa y de 300hPa. Además de los datos de presión, se pueden obtener los datos de geopotencial, viento, nubosidad (porcentaje), temperatura y precipitación (representa la cantidad caída en las seis horas anteriores en l/m², excepto con el modelo **HIRLAM-AEMET 0.05°**, que representa la precipitación en las tres horas anteriores).

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/modelosnumericos/hirlam>

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/modelosnumericos/hirlam005>

El modelo global espectral **IFS** del **ECMWF** tiene una resolución de 16km y 91 niveles en la vertical. La previsión disponible es también de 96 horas con mapas cada 24 horas.

Cubre las zonas del Hemisferio Norte, el Hemisferio Sur y el Atlántico Norte en las cuales se puede consultar la presión a nivel del mar y los mapas de altura a 500hPa.

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/modelosnumericos/cep>
[pm](#)

5.4.7 Imágenes de satélite

Se dividen en cinco (5) secciones que se explican a continuación.

Infrarroja Se trata de la imagen del satélite Meteosat-9, del canal infrarrojo (10,8mm) de la zona de Europa y norte de África. Da información acerca de la temperatura del cuerpo observado. Las zonas más oscuras corresponden a zonas más calientes y las más claras a zonas más frías. Por ese motivo, las nubes aparecen tanto más claras cuanto más altas y, por tanto, más frías están.

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/satelite/infra>

Visible Producto de la mezcla de imágenes de tres canales en onda corta originales del satélite Meteosat-9 del cual el resultado presenta un aspecto cercano a la visión natural. Por la naturaleza de la información original, esta imagen sólo se puede generar para la zona iluminada. Además, con carácter previo a la mezcla, las imágenes originales se han corregido para eliminar el efecto de la diferente iluminación solar según la hora del día.

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/satelite/visible>

Global Esta imagen es una composición formada con las observaciones simultáneas de los satélites Meteosat-9 y Meteosat-7 de EUMESAT, del satélite japonés MTSAT2 y de los satélites americanos GOES-15 y GOES-13 de la NOAA, todos ellos geoestacionarios⁵⁵. Las imágenes de cada uno de los satélites citados anteriormente se re proyectan a una proyección *Mercator* común y después se combinan para formar la imagen del Globo entero. También existe la opción de consultar la imagen directa de las cinco zonas del planeta divididas en América, Europa – África, Asia, Oceanía y el Pacífico (se debe tener en cuenta que solo estarán disponibles las imágenes de las regiones del planeta donde no sea de noche).

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/satelite/global>

⁵⁵ Un satélite geoestacionario tiene una velocidad de traslación alrededor de la Tierra que coincide con la velocidad de rotación de la ésta sobre su eje. De esta forma, el satélite siempre está sobre la misma región y puede realizar observaciones sobre la misma de forma continua. La órbita de estos satélites está en el plano ecuatorial y su altitud aproximada es de 36.000km.

Masas de aire Como resumen de la interpretación de estas imágenes se puede destacar lo siguiente:

- ① Las zonas que aparecen en blanco corresponden a nubosidad alta
- ② Las zonas de color ocre corresponden a nubes medias
- ③ Las zonas de color verdoso corresponden a masas tropicales pobres en ozono
- ④ Las zonas azuladas corresponden a masas polares ricas en ozono
- ⑤ Las zonas rojizas corresponden a aire seco procedente de la estratosfera (valores altos de vorticidad potencial, chorros...)

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/satelite/masas>

Productos derivados Se tratan del Índice de vegetación y de la Temperatura del agua de mar. Para el segundo caso, a las imágenes obtenidas a partir de estos datos, por proceder de canales IR no transparentes a las nubes y para que además queden bien delimitadas las costas, es imprescindible aplicarles procesos de descontaminación nubosa y de tierra. El uso de información procedente de satélites meteorológicos de órbita polar para obtener temperaturas de la superficie del mar (SST) presenta una importante mejora en la resolución espacial de dicho dato. La información convencional al efecto (barcos y boyas), bastante fiable pero de cobertura irregular y escasa es sin embargo clave para el control de calidad de los datos obtenidos así como para la mejora de los algoritmos de obtención de SST.

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/satelite/pderiv>

5.4.8 Puertos del Estado

El **OPPE** (Organismo Público Puertos del Estado) conjuntamente con **AEMET** produce y distribuye dos veces al día una predicción de viento y de oleaje para el Atlántico Norte y la cuenca occidental del Mar Mediterráneo⁵⁶.

El sistema de predicción de oleaje arranca diariamente a las cinco (5) horas y a las 17 horas. Aproximadamente una hora después los resultados están disponibles en la web de Puertos del Estado en forma de mapas, gráficos y tablas.

http://portus.puertos.es/Portus_RT/?locale=es

<http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/AccesoSimplificado/Paginas/Mapas.aspx>

El sistema está basado en una serie de aplicaciones de modelos de generación de oleaje⁵⁷ que utilizan los campos de viento previstos proporcionados por **AEMET** utilizando el modelo meteorológico de área limitada **HIRLAM**. El horizonte de esta predicción es de 72 horas para el Atlántico y el Mediterráneo, con campos previstos cada hora.

Utilizando un esquema de anidamiento en dos sentidos, se ha desarrollado una aplicación para la costa española. La versión del modelo utilizada para el Atlántico es de aguas profundas, y por lo tanto no se tiene en cuenta ningún fenómeno producido por el fondo marino. Para el Mediterráneo se utiliza la versión de aguas someras y por lo tanto se tiene en cuenta la atenuación y refracción causadas por el fondo marino en los puntos de malla (pocos) que pueden considerarse como aguas someras. Anidadas al Atlántico y al Mediterráneo se han desarrollado aplicaciones específicas para el Cantábrico, el Golfo de Cádiz y las Islas Canarias.

La serie de productos disponibles incluye los mapas previstos de oleaje y viento con un horizonte de predicción de 72 horas, la información sobre las

⁵⁶ Existe un artículo interesante respecto al proyecto que se puede obtener en <http://www.puertos.es/es-es/Documents/PEWaveForecastSystem.pdf>

⁵⁷ Se puede conseguir más información sobre la serie de modelos utilizados en http://www.puertos.es/es-es/Documents/Descripcion_Pred_Oleaje_es.pdf

series temporales previstas por los modelos **HIRLAM** y **WAM**, la verificación de la predicción de oleaje y el sistema **SAPO** (Sistema de Predicción Local de Oleaje) en las Autoridades Portuarias

5.5 WEB DEL SERVICIO METEOROLÓGICO DE LA ARMADA DE CHILE

5.5.1 Productos

Los productos de interés disponibles en la web incluyen un Pronóstico General Marítimo, un Pronóstico de Bahías, un Pronóstico de Canales, un Pronóstico Insular Oceánico, un Pronóstico Antártico, cartas de análisis y de pronóstico de superficie (a color y en blanco y negro), mapa de límites de hielo, cartas de pronóstico de viento y de olas, imágenes por satélite y pronósticos de oleaje y viento de datos de modelo.

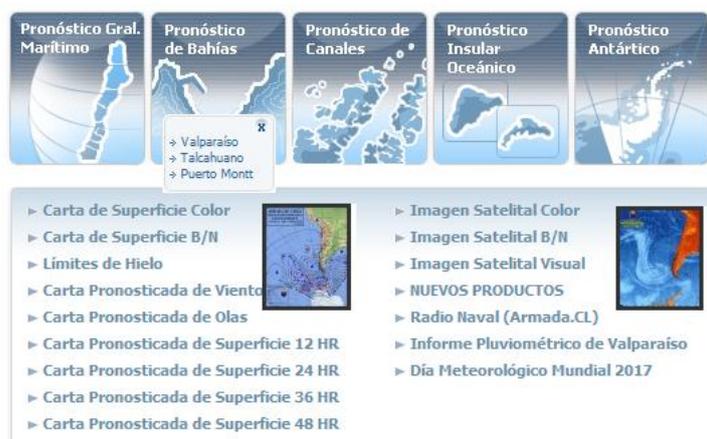


Figura 5.9: Sección de productos disponibles en la página principal.
(http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/edic/base/port/inicio.html)

5.5.2 Pronósticos

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/edic/base/port/pronosticos.html

Pronóstico General Marítimo Se trata de un pronóstico de alta mar que cubre el área desde los 18° 20'S hasta los 60°S y desde aproximadamente los 80°W hasta la costa de Chile. Está dividido en siete zonas: la zona de Arica a Coquimbo, de Coquimbo a Constitución, de Constitución a I. Mocha, de I. Mocha a P. Montt, de P. Montt a F. San Pedro, de F. San Pedro a F. Evangelistas y de F. Evangelistas hasta el paralelo de los 60°S.

Da información de texto válida desde las 0800 hasta las 2000hl o desde las 2000 hasta las 0800hl sobre la nubosidad, la visibilidad, el viento y la mar predominantes en cada zona por medio de un mapa general. También se puede acceder a la versión original del pronóstico (puro texto) clicando el botón de la parte superior del mapa.

http://meteoarmada.directemar.cl/site/pronosticos/pronostico_general_maritimo.html

Pronóstico de Bahías Se divide en las zonas de Valparaíso, Talcahuano y Puerto Montt. Para la zona de Valparaíso se podrá consultar los partes de las bahías de Quintero, Valparaíso y San Antonio. Para la zona de Talcahuano, los pronósticos para Constitución, Talcahuano, Lirquen, San Vicente, coronel y Lebu. Finalmente, accediendo a Puerto Montt se podrán consultar los partes de Puerto Montt a Isla Buta Chauques, de Isla Buta Chauques a la Isla San Pedro y de Boca del Guafo a Golfo Corcovado.

Los pronósticos dan información de texto válida desde las 0800 hasta las 2000hl o desde las 2000 hasta las 0800hl sobre la nubosidad, la visibilidad, el viento y la mar predominantes en cada zona por medio de un mapa general. También se puede acceder a la versión original del pronóstico (puro texto) clicando el botón de la parte superior del mapa.

http://meteoarmada.directemar.cl/site/pronosticos/pronostico_bahia_valparaiso.html

http://meteoarmada.directemar.cl/site/pronosticos/pronostico_bahia_talcahuano.html

http://meteoarmada.directemar.cl/site/pronosticos/pronostico_bahia_puertomontt.html

Pronóstico de Canales Da la misma información de nubosidad, visibilidad, viento y mar que los pronósticos anteriores pero para las zonas de canales australes de Puerto Natales, el Estrecho de Nelson, Paso Tamar, Felix/Froward, Froward/Pta. Delgada, Pta. Delgada/Dugennes, Pta. Arenas, Paso Brecknock, Timbales/Pto. Navarino, Navarino/I. Nueva, Nassau/Cabo de Hornos y el propio Cabo de Hornos.

Los pronósticos dan información de texto válida desde las 0800 hasta las 2000hl o desde las 2000 hasta las 0800hl sobre la nubosidad, la visibilidad, el viento y la mar predominantes en cada zona por medio de un mapa general. También se puede acceder a la versión original del pronóstico (puro texto) clicando el botón de la parte superior del mapa.

http://meteoarmada.directemar.cl/site/pronosticos/pronostico_canales_australes.html

Pronóstico Insular Oceánico Muestra la misma información de pronóstico para la Isla de Pascua y la Isla Juan Fernández con la misma frecuencia que los anteriores.

http://meteoarmada.directemar.cl/site/pronosticos/pronostico_insular_oceanico.html

Pronóstico Antártico Proporciona los mismos datos para la zona cercana a la Tierra de O`Higgings. Se divide en un Sector Oeste (de 120° a 95°W), un Sector Central (de 95° a 75°W), el Paso de Drake Sur, el Estrecho de Bransfield, el Mar de Weddell y la costa Oeste de la Tierra de O`Higgings (desde los 75°W).

La frecuencia de los pronósticos es también de dos veces al día, con la diferencia de que son válidos desde las 1000 hasta las 2200hl y desde las 2200 hasta las 1000hl.

http://meteoarmada.directemar.cl/site/pronosticos/pronostico_antartico.html

5.5.3 Cartas de Superficie

Se puede acceder a los últimos análisis de superficie a color y en blanco y negro de gran utilidad para la planificación del tránsito desde el Pacífico hasta el Atlántico o viceversa.

Se trata de proyecciones estereográficas polares a escala 1:20.000.000 con un ábaco para determinar la velocidad del viento geostrofico. La información gráfica de los mapas que ha sido tratada por un meteorólogo incluye las isobaras, los centros de alta y baja presión y los sistemas frontales. Comentar también que la calidad de los mapas deja algo que desear, es por ello que existe un botón de acceso a cartas de mayor calidad gráfica en la parte superior.

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20151128/pags/20151128141737.html#des

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20151128/pags/20151128142006.html#des

5.5.4 Límites de Hielo

El Servicio Meteorológico de la Armada de Chile pone a disposición de los usuarios información gráfica sobre la concentración de hielos en la región de la Península Antártica cada cierto periodo de tiempo a través del Centro Nacional de Hielos.

En el mapa se muestra a través de colores la categoría y los espesores de los diferentes hielos alrededor de la Tierra de O'Higgins.

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20170409/pags/20170409235641.html

5.5.5 Cartas de Pronóstico de Superficie

Se trata de una superposición de mapas de superficie y mapas de altura a 500hPa de proyección *Mercator* en donde se han marcado los centros de acción y los frentes a partir de los datos **GRIB** del modelo global **GFS**.

Los pronósticos son válidos hasta 48 horas y están divididos en periodos de 12 horas con los datos de modelo a partir de las 00Z.

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20140101/pags/20140101174603.html

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20140101/pags/20140101174630.html

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20140101/pags/20140101174727.html

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20160504/pags/20160504060506.html

5.5.6 Cartas Pronosticadas de Viento y de Olas

Pronósticos de Viento Son los datos en bruto de la fuerza y la dirección del viento en superficie en formato GRIB procesados a partir de los cálculos del modelo GFS. Se puede consultar el siguiente parte a través del siguiente link, pudiendo obtener una imagen de mejor calidad por medio del botón en la parte superior:

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20140105/pags/20140105094031.html#des

Este otro link permite acceder al bucle secuencial con los pronósticos cada 12 horas hasta las 72 horas siguientes:

http://web.directemar.cl/met/jturno/pub/animacion_Cvto.gif

Pronósticos de Olas Son los datos en bruto de la altura significativa y la dirección de las olas en formato GRIB procesados a partir de los cálculos del modelo global NWW3. Se puede consultar el siguiente parte a través del siguiente link, pudiendo obtener una imagen de mejor calidad por medio del botón en la parte superior:

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20140105/pags/20140105094103.html

Este otro link permite acceder al bucle secuencial con los pronósticos cada 12 horas hasta las 72 horas siguientes:

http://web.directemar.cl/met/jturno/pub/animacion_Cola.gif

5.5.7 Imágenes Satelitales

Están disponibles las últimas imágenes infrarrojas a color, en blanco y negro y visuales en los siguientes links:

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20140101/pags/20140101122152.html

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20160801/pags/20160801050359.html

http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/artic/20140101/pags/20140101122319.html

5.5.8 Nuevos Productos

Como producto de interés, el Servicio Meteorológico de la Armada pone a disposición de los usuarios, una nueva versión más sencilla de su página web, especialmente diseñada para la navegación con dificultades de conexión a internet, simplificando la búsqueda de los informes gráficos y el texto de los boletines vigentes.

<http://web.directemar.cl/met/jturno/indice/index.htm>

En ella se incluyen vínculos directos a los avisos especiales de mal tiempo, pronósticos de tiempo marítimo, fotografías satelitales, cartas de superficie, pronosticadas, viento, olas y hielos, junto con la animación de los modelos regionales; además de vínculos a los datos de estaciones automáticas, estado de los puertos, cuentas de twitter, encuestas y direcciones de otros sitios externos, relacionados con organismos afines.

6. VALORACIÓN DE DATOS

El tiempo y la marea ni se paran ni esperan

Para la valoración, el análisis y la comparación de los modelos meteorológicos, la **OMM** (**Organización Meteorológica Mundial**), cuenta con un programa específico denominado **WWW** (**World Weather Watch Programme**). El programa basado en el **GDPFS** (**Global Data-processing and Forecasting Systems**)⁵⁸ tiene como objeto poner a disposición de los Miembros los análisis y los pronósticos meteorológicos más rentables. Se publican periódicamente una serie de informes y tablas de verificación (proporcionadas por cada centro) de varios modelos (tanto de los deterministas como de los probabilistas) que ayudan a su desarrollo⁵⁹.

http://www.wmo.int/pages/prog/www/index_en.html

El **GDPFS** cumple para ello con una serie de funciones.

Funciones a tiempo real:

- ④ Pretratamiento de datos; recuperación, control de calidad, decodificación, clasificación de datos almacenados en una base de datos para su uso en la preparación de productos de salida,
- ④ Preparación de análisis de la estructura tridimensional de la atmósfera con cobertura global,
- ④ Preparación de productos de previsión con cobertura global hasta un máximo de 10 días,
- ④ Preparación de productos especializados, como previsiones a corto, medio y largo alcance de mallas muy finas, productos a medida para el mar, la aviación, el monitoreo de la calidad ambiental y otros fines,
- ④ Monitorización de la calidad de los datos observacionales,

⁵⁸ La edición de 2010 en castellano del completo Manual del Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción (**GDPFS**) se puede descargar en http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPFS/documents/485_Vol_1_es.pdf

⁵⁹ En esta web se pueden encontrar los resultados de las verificaciones <http://epsv.kishou.go.jp/EPsv/>

- ④ Posprocesamiento de datos utilizando estaciones de trabajo y sistemas basados en PC con el fin de producir productos de valor añadido a medida y generar pronósticos meteorológicos y climáticos directamente a partir de la producción del modelo.

Funciones a tiempo no real:

- ④ Preparación de productos especiales para el diagnóstico climático a escala mundial o regional,
- ④ Comparación de los productos de análisis y pronóstico, supervisión de la calidad de los datos observacionales, verificación de la exactitud de los campos de predicción preparados, estudios de diagnóstico y desarrollo de los modelos numéricos,
- ④ Almacenamiento a largo plazo de los datos y de los productos, así como los resultados de la verificación para uso operacional y de investigación,
- ④ Mantenimiento de un catálogo continuamente actualizado de datos y productos almacenados en el sistema,
- ④ Intercambio entre los centros de información *ad hoc* de **GDPFS** a través de bases de datos distribuidas,
- ④ Realización de talleres y seminarios sobre la preparación y utilización de productos de salida del **GDPFS**.

Los modelos de los cuales se puede consultar la información a través de la web del *Lead Centre on Verification of Ensemble Prediction System* son los utilizados por el **BOM**, el **CMA**, **CPTEC**, **ECMWF**, **JMA**, **KMA**, **Météo-France**, **NCEP**, **RUMS** y **UKMO**.

A continuación se toma un ejemplo de comparativa utilizado en modelos globales. Los modelos globales son más fáciles de comparar pues cubren toda la zona de la tierra y existen protocolos de cómo realizar las comparaciones y verificaciones entre ellos. La normativa de verificación incluye los índices o parámetros a utilizar, niveles, etc., y está normalizado por la **OMM**.

En los estándares definidos por la OMM⁶⁰ se establecen, además, los tipos de verificaciones para predicciones deterministas y probabilísticas tipo EPS (*Ensemble Prediction System*).

Uno de los índices de verificación que se usan para los modelos es el error cuadrático medio o su raíz **RMS** o **RMSE** (*Root Mean Square Error*), que se define como:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(f_i - O_i)^2 W_i]}{\sum_{i=1}^N W_i}} \quad (1)$$

donde:

f_i = valor de la anomalía de predicción sobre el punto de grid o estación i

O_i = valor de anomalía analizada en el punto de grid o de la estación i

$W_i = 1$ para todas las estaciones, cuando la verificación se hace en estaciones

$W_i = \cos(\theta_i)$ en el punto de grid i , cuando la verificación se hace sobre un grid

con:

θ_i = la latitud en el punto de grid i .

N = número total de puntos de grid o de estaciones donde se realiza la verificación

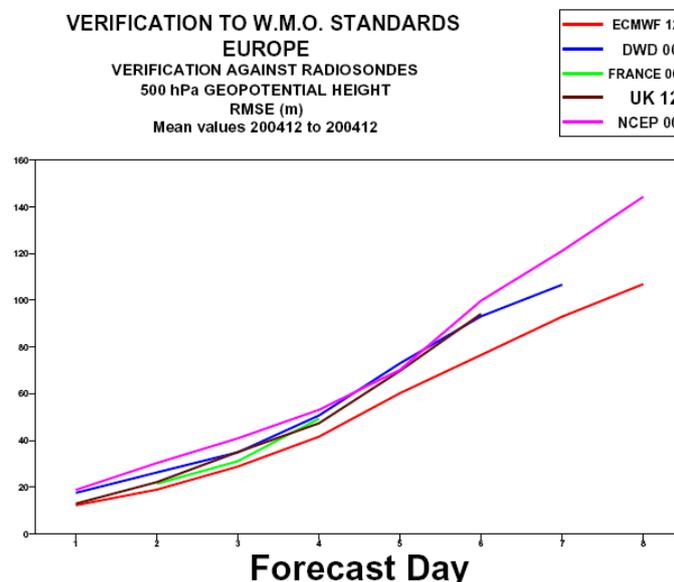


Figura 6.1: Ejemplo de comparativa de las predicciones a 500hPa de cinco modelos por medio del índice RSME. (<https://www.tiempo.com/>)

⁶⁰ Para mayor información sobre el Standardised Verification System (SVS) for Long-Range Forecasts (LRF) se puede consultar el paper de la OOM en https://www.wmo.int/pages/prog/www/DPS/LRF/ATTACHII-8SVSfrom%20WMO_485_Vol_I.pdf

El **RMSE** es el promedio especial de las diferencias al cuadrado entre la predicción y el análisis del modelo o de las observaciones de verificación, válidas para el mismo instante.

Es una medida de la fiabilidad de un modelo, capturando tanto la estructura como la intensidad de los sistemas. Cuanto menor sea el **RMSE**, mejor será el modelo.

7. CONCLUSIONES

Banda del Norte a mediodía, agua segura al otro día

El desarrollo de la previsión meteorológica moderna, se puede dividir en cuatro pasos:

1. Observación del estado de la atmósfera por medio de satélites, radares, estaciones terrestres o a flote, radiosondas, boyas etc.
2. Asimilación de los datos de observación, es decir, el tratamiento para que sean utilizables por el modelo,
3. Simulación de la evolución de los parámetros meteorológicos, realizado por los modelos predictivos basados en las leyes fundamentales de la mecánica de fluidos, termodinámica y el cambio de estado del agua,
4. Análisis e interpretación de resultados por los pronosticadores: saber las deficiencias de los modelos y las características de los climas locales, se ajustan los resultados de la simulación y definen el escenario más probable, y traducen la imagen y los boletines adaptados a los usuarios.

Los modelos meteorológicos son una herramienta más del pronóstico del estado del tiempo y representan un acercamiento de lo que se espera del estado físico de la atmósfera en el futuro cercano. Los modelos pueden estar subestimados, sobrestimados o representando someramente las condiciones de las variables meteorológicas (incluso las del tiempo presente en sus condiciones iniciales).

Por ello, la publicación final de un pronóstico debe ser mejorada con la experiencia y los análisis complementarios que realizan los meteorólogos. Los meteorólogos también caracterizan los peligros y riesgos de tomar decisiones sobre la vigilancia meteorológica.

Hay que diferenciar unos modelos u otros en función del uso que se les vaya a dar, bien sea por su resolución temporal (plazo de previsión corto, medio o largo), el fenómeno que se quiera observar (sistemas frontales, episodios tormentosos, viento, oleaje, ciertos fenómenos locales etc.) y la resolución espacial (por su extensión, caracterización de la orografía etc.).

En cualquier pronóstico del tiempo dado, hay dos factores que llevan la habilidad de pronóstico a disminuir según los aumentos de tiempo de pronóstico: las incertidumbres inevitables en las condiciones iniciales y las aproximaciones necesarias en la construcción de un modelo numérico de las leyes exactas de la física.

Ambos causan errores que se amplifican con el tiempo. De hecho, estas dos fuentes de error no pueden considerarse de forma independiente, ya que las condiciones iniciales se construyen en parte mediante la integración del modelo numérico subyacente (y por lo tanto incluyen los errores resultantes del modelo numérico) como parte del proceso de inicialización por asimilación de datos.

De forma general, y en base a la resolución de los modelos, hoy en día podemos distinguir el grupo de los globales, de baja resolución (**GFS**, **UKMO**, etc.) y los mesoescalares de alta resolución (como el **AROME**). Un detalle a tener en cuenta es que incluso puede crearse una fase intermedia desde hace pocos años, ya que hay modelos globales, como el **ECMWF** o el **ARPÉGE**, que tienen resoluciones casi comparables a las de un mesoescalar y permiten afinar ciertos detalles que hasta hace poco un global no podía ofrecer. Los modelos numéricos de predicción no se comparan para una situación dada si no que se realizan comparaciones objetivas basadas en unos estándares definidos.

Por otra parte existen modelos difícilmente comparables como es el ejemplo del **AROME** y el **ARPÉGE**, al tratarse de dos tipos de modelos diferentes. El primero es un mesoescalar no hidrostático de altísima resolución y para ciertas cosas es simplemente insuperable por el resto de modelos al alcance de todos los usuarios, como por ejemplo a la hora de predecir los vientos locales, brisas e incluso en algunos casos fenómenos como la convección y las nieblas. Sin embargo, para predicciones un poco más generales o a plazos que vayan más allá de las 36 horas, (que es donde el modelo **ARPÉGE** es más cómodo) no sirve de mucho.

Es por todo ello, como norma general para una buena previsión, el navegante deberá evitar fiarse de pronósticos basados en un solo modelo numérico además de tratar la información obtenida a partir de los modelos de baja resolución con la prudencia que le corresponde.

El problema más grave se presenta cuando va a haber episodios de muy mal tiempo o tiempo severo, que es cuando un pronóstico preciso se hace imprescindible. La recomendación que se obtiene por medio de éste trabajo es la siguiente:

1. Utilizar las fuentes de información meteorológica que muestren los resultados basados en múltiples modelos numéricos. En este caso, si se trata de información ya interpretada por un meteorólogo marino, mucho mejor,
2. Conocer los puntos fuertes y las debilidades de cada modelo de previsión (esto puede variar en función de la zona de interés) y aprovecharlos al máximo. Las pautas a seguir comienzan por la consulta de los partes para la zona a partir de los modelos globales que mejor cobertura den a esa zona (de esta forma se tiene una idea general de los futuros acontecimientos), seguido de una comparación con los modelos de mesoescala y las interpretaciones de éstos por los profesionales, para la zona en cuestión,
3. Ignorar cualquier previsión de más de siete (7) días que no utilice múltiples modelos y no ofrezca los distintos escenarios posibles. Debería ofrecer las probabilidades de ocurrencia y en el caso de predicciones a más largo plazo, las tendencias,
4. Entender que en las salidas a más largo plazo hay ciertas divergencias achacables al carácter caótico de la atmósfera más que a la imprecisión de los modelos,
5. Las previsiones a corto plazo no tienen nada que ver con las que se hacen a tres (3), cinco (5) o diez (10) días vista y, por tanto, no se les puede atribuir la misma fiabilidad,

6. Ser conscientes de las webs que actualizan la información con más frecuencia, para el posible caso de los avisos o *warnings* de última hora.

8. LÍNEAS FUTURAS

Horizonte claro con cielo nublado, buen tiempo declarado

En el trabajo se ha tratado principalmente de algunos de los modelos atmosféricos principales utilizados por los servicios de meteorología, pero se considera también de gran interés para el marino el conocimiento de algunos de los modelos oceanográficos existentes. Además, existen otras webs de contenidos más específicos como puede ser la información, predicción y análisis de la actividad ciclónica en las zonas tropicales que pueden ser de gran ayuda para los episodios meteorológicos menos deseados por el marino.

El acceso a la información de los modelos numéricos ha evolucionado de tal forma que hoy en día es posible realizar predicciones meteorológicas con la ayuda de software específico de tratamiento de datos numéricos. A partir de los datos de salida de los diferentes modelos se puede obtener información utilizando los modernos programas o servicios de visualización, animación y de routage basados en diferentes métodos (isocronas etc.). Sería interesante el análisis de estos programas profesionales, así como la consulta de las numerosas webs de las cuales se pueden obtener los ficheros GRIB (datos en forma numérica para los campos de viento, mar, presión etc.) de los que se alimentan dichos programas.

Finalmente, la interpretación de las fotos obtenidas vía satélite se ha convertido en un método fundamental dentro del análisis meteorológico moderno. La observación del desplazamiento de las nubes a partir de las imágenes de los satélites geoestacionarios o ciertas tecnologías con las que cuentan los propios satélites (radares, escaterómetros, radiómetros etc.) permite deducir los campos de viento para la realización de los análisis. Otras técnicas como la comparativa de los datos de predicción con las últimas imágenes satélite permite realizar análisis más completos a la hora de trabajar con planes de viaje. Por ello, se considera interesante el conocimiento de las numerosas webs de las cuales se pueden obtener dichas imágenes.

9. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y OTRAS WEBS DE INTERÉS

Cuando agua venga antes que viento, prepara aparejo a tiempo

Bibliografía

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

[2] **Steve and Linda Dashew.** *Mariners Weather Handbook; A guide to forecasting and tactics.* Beowulf, Tucson (Arizona), 1999

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

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

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

[6] **FECYT.** *Meteorología y climatología; Semana de la Ciencia y la Tecnología.* Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2004

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

[8] **Frank Singleton.** *Reeds Weather Handbook.* Bloomsbury, London, 2013

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

[10] **Manolo Palomares.** *Breve historia de la meteorología.* Agencia Estatal de Meteorología

http://www.aemet.es/documentos/es/conocenos/nuestra_historia/brave_historia_meteorologia.pdf

Otras webs de interés

<http://www1.wetter3.de/>

Amplia colección de mapas de actuales de alta resolución, calculada a partir de los datos del modelo americano **GFS** y el modelo del Servicio Meteorológico de Alemania **ICON**, entre otros.

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

Una web con un enorme contenido de mapas de predicción oficiales de diversa procedencia y diversos modelos.

www.weatheronline.co.uk

Se trata de otra web muy bien organizada con acceso a casi todo tipo de mapas meteorológicos con los datos de la mayoría de los modelos conocidos para cualquier parte del mundo.

<http://www.atmos.albany.edu/student/kgriffin/maps/>

Otra web con acceso a una gran variedad de mapas de predicción meteorológica de cualquier zona mundial.

http://www.wxcaster.com/models_main.htm

Web con acceso a información gráfica a partir de varios modelos numéricos.

<http://www.atmos.washington.edu/~bnewkirk/>

Este sitio web proporciona una evaluación de los campos de inicialización de los modelos **ETA**, **GFS**, **MRF** y **NGM** que integran el **NCEP**.

<http://www.bom.gov.au/>

Web del *Bureau of Meteorology* del Gobierno australiano.

<https://weather.gc.ca/>

Web meteorológica del Gobierno de Canadá, que cuenta con el modelo numérico propio **GEM**, desarrollado especialmente con la capacidad de predicción de hielo.

<http://www.smn.gov.ar/>

Web del Servicio Meteorológico Nacional argentino, con acceso al modelo predicción de oleaje **Austral-WW3** implementado para la zona de Cabo de Hornos.

<http://www.meteoconsult.com/>

Web de servicios meteorológicos varios de interés para el navegante.

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

Imágenes satélite del continente europeo, además de mapas a partir de los modelos **GFS, IFS, WRF, ICON, HIRLAM, ARPEGE** y **GEM**.

<http://www.theweatheroutlook.com/twodata/datmdlout.aspx>

Acceso a cartas elaboradas a partir de los datos numéricos de diferentes modelos que cubre especialmente la zona del continente europeo.

<http://meteocentre.com/>

Más mapas de análisis meteorológico, predicción meteorológica numérica, imágenes por satélite etc.

