

MAR DE FONDO EN LAS ISLAS CANARIAS PROCEDENTE DEL ATLÁNTICO SUR. LA IMPORTANCIA DE INCORPORAR LAS CONDICIONES DE CONTORNO DEL MODELO WAM AL ATLÁNTICO SUR.

Autor: Eduardo Portillo Hahnefeld ¹

Coautor: Irene Peñate de la Rosa ²

Coautor: Justo Conde Criado ³

(1) Instituto Tecnológico de Canarias, SA (E-mail: eportillo@itccanarias.org)

(2) Centro Meteorológico Territorial en Canarias Oriental. GPV. INM

(3) Subdirección General de Climatología y Aplicaciones. Unidad de Meteorología Marítima. INM

Resumen:

Durante los días 8, 9 y 10 de junio de 2006 las costas sureñas de las Islas Canarias se vieron afectadas por una fuerte mar de procedente del Atlántico Sur. Los días 2 y 3 de junio se observa la formación de una profunda depresión esas latitudes del sur generando olas de más de 9 metros con dirección hacia Canarias por el único y estrecho pasillo existente entre el continente sudamericano y africano. El día 7 de junio a las 21:00 horas se empezaron a registrar en la boya Tenerife Sur (aguas profundas) las primeras olas que llegaban a las costas canarias, con períodos de pico de 19.9 s y alturas de olas significativas de sólo 0.5 m. Las olas de mayor altura se registraron los días siguientes, con alturas significativas de 1.5-1.6 m, períodos de pico de 16.6-15.4 s y con dirección de pico de procedencia del oleaje de 211°-208°, que en costa llegaron a alcanzar alturas de hasta 3.5 m en determinadas rompientes. Aunque este tipo de oleaje, que azota la zona sur y turística de las islas (de alto interés del ámbito portuario, turismo, ocio, pesca, salvamento marítimo, gestión de playas, etc.), es bastante habitual en primavera y verano (otoño e invierno austral), no está siendo estimado por los sistemas de predicción de oleaje distribuidos por el Organismo Público Puertos del Estado (OPPE) conjuntamente con el Instituto Nacional de Meteorología (INM). Las condiciones de contorno de los límites de la malla del modelo WAM sólo recogen el área del Atlántico Norte sin incluir condiciones de contorno del Atlántico Sur y lo que aquí pueda acontecer con posibles repercusiones en el archipiélago.

Introducción:

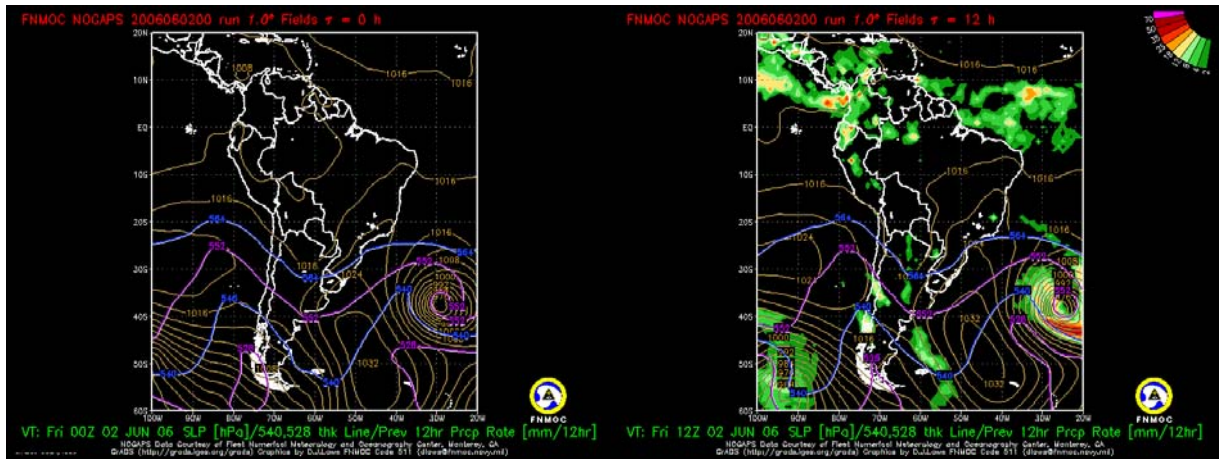
Al observar los mapas habituales de dos dimensiones parece que tanto el continente sudamericano como el africano imposibilitan la llegada de cualquier oleaje formado en latitudes sur hacia Canarias. Esto es debido a la distorsión resultante de extrapolar a un plano la estructura tridimensional de la esfera terrestre. Entre las Islas Canarias y el Atlántico Sur sí que existe un estrecho pasillo donde se enlazan caminos o rutas en el mar (figura 1) que trazan la distancia más corta entre dos puntos a través de la esfera terrestre (gran círculo). Por lo que en el océano Atlántico Sur, frente a la Patagonia, si existe suficiente viento soplando paralelo a ese gran círculo, que enlaza directamente a nuestras playas del sur (sin ningún obstáculo en su camino), entonces podremos ser afectados por la mar de fondo que han originado. Esto es exactamente lo que ocurre entre abril y septiembre (otoño e invierno austral), que es cuando suelen formarse profundas borrascas en el Atlántico Sur procedentes de la Antártida. En determinados casos se posicionan de tal manera que su fetch queda orientado directamente hacia nuestras islas (ángulo de dirección desde nuestras costas

entre 190°-220°) desde una distancia a veces de más de 5.000 millas náuticas (mn). Si además el nivel de energía acumulado del oleaje en la zona de generación es muy grande, por la elevada velocidad del viento (más de 35 nudos a lo largo de 600 mn en la zona central del fetch) y el tiempo en que esta situación perdura (más de 24 horas), entonces más posibilidades tendrá la mar de fondo generado (olas de más de 9 metros), una vez que se aleje de su origen, de llegar a nuestras costas atravesando tan largo trayecto. Las olas generadas llegarán a Canarias 6 u 8 días más tarde con alturas a veces de más de 3.5 metros en zonas de rompiente y períodos entre 20-14 s tras haber recorrido entre 4.000-5.000 nm. Estos extensos recorridos y tiempos de propagación son los que van a favorecer los fenómenos de agrupamiento, y los enormes fetchs de este tipo de borrascas, que incluso a veces se desplazan con la misma velocidad y dirección que las olas que están creando en ese momento (fetch dinámico), son los que potenciarán aún más la generación de series con gran número de olas (más de 10 olas). Estos dos factores son los que fomentan principalmente la capacidad de generar estas series de más de 10 olas: los largos recorridos, que permiten que las olas tengan tiempo de organizarse internamente en grupos bien definidos de olas con la misma velocidad, y la capacidad del sistema de desarrollar estos fetchs dinámicos. Canarias, como parte del sur de Europa, junto con la zona oeste de Estados Unidos, Australia, Perú y Chile, son de las pocas zonas del mundo expuestas a estos singulares tipos de oleajes tan seriados y generados a más de 5.000 mn (con entretiempos de 20-30 minutos entre series y con grupos de más de 10 olas).

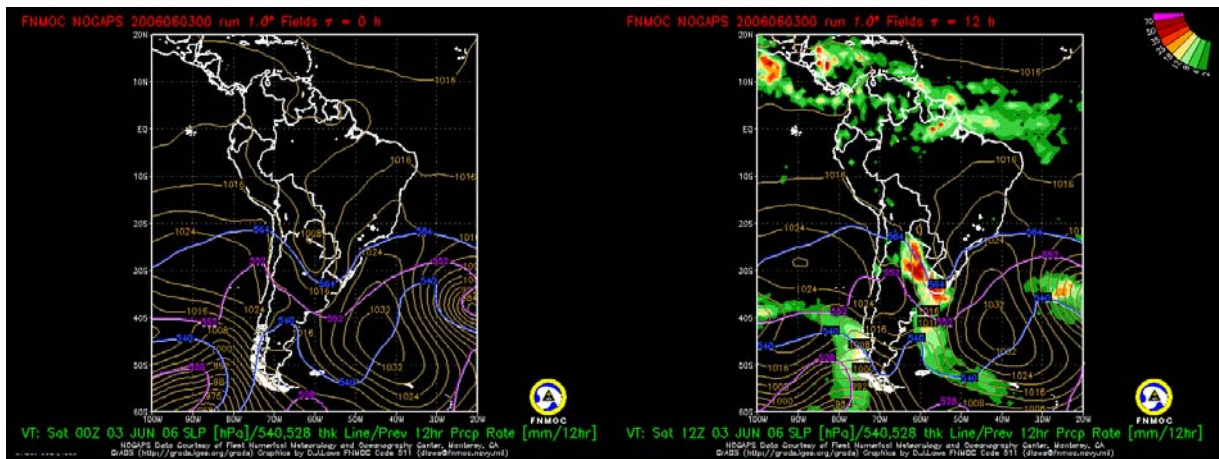
Evolución de la borrasca:

En este apartado se analiza someramente la evolución de la borrasca y la generación y propagación del oleaje, según las salidas de los modelos numéricos operativos (NOGAPS Navy Operational Global Atmospheric Prediction System, GFS Global Forecast System y WW3 WAVEWATCHIII), y los mapas de viento en la superficie del océano del radar de alta frecuencia scatterometer del satélite (QuikSCAT), estableciendo el marco de referencia general donde y como se desarrolló. La borrasca comenzó a formarse en el Atlántico Sur el 1 de junio del 2006 aproximadamente a 37°S, 31°W. Posteriormente el sistema fue desplazándose hacia el este conforme fue potenciándose, hasta posicionarse el 3 de junio a 37°S, 17°W cuando ya la tormenta comenzaba a debilitarse.

En la figura 1 se puede observar, a través de los mapas de viento del satélite QuikSCAT, la trayectoria seguida por el centro de la borrasca en superficie desde el día 1 al 3 de junio, así como la variación en intensidad de la misma, y consecuentemente, en su capacidad de generación de olas. Se puede ver como el 2 de junio se desarrolló un fetch de aproximadamente 350 mn de largo y 290 mn de ancho donde la superficie del mar estuvo sometida a velocidades de viento superiores a 40 nudos en la misma dirección. Esta situación se mantuvo durante las 24 horas del 2 de junio.



a)



b)

Figura 2.- Mapas previstos de presión a nivel del mar y cantidad acumulada de precipitación prevista por el modelo atmosférico NOGAPS operado por la FNMOC para el día 2 y 3 de junio. a) campos previstos para el día 2 de junio a las 00 UTC y a las 12 UTC. b) id. del día 3 de junio a las 00UTC y 12UTC.

En la figura 2 se puede observar la evolución de la tormenta los días 2 y 3 de junio, cuando se formó el grueso del oleaje. Se puede apreciar como a lo largo del día 2 de junio la depresión alcanza su máximo desarrollo y como se va desplazando hacia el este conforme se va debilitando, lo cual también se refleja en los análisis del ECMWF para los citados días (figura 3).

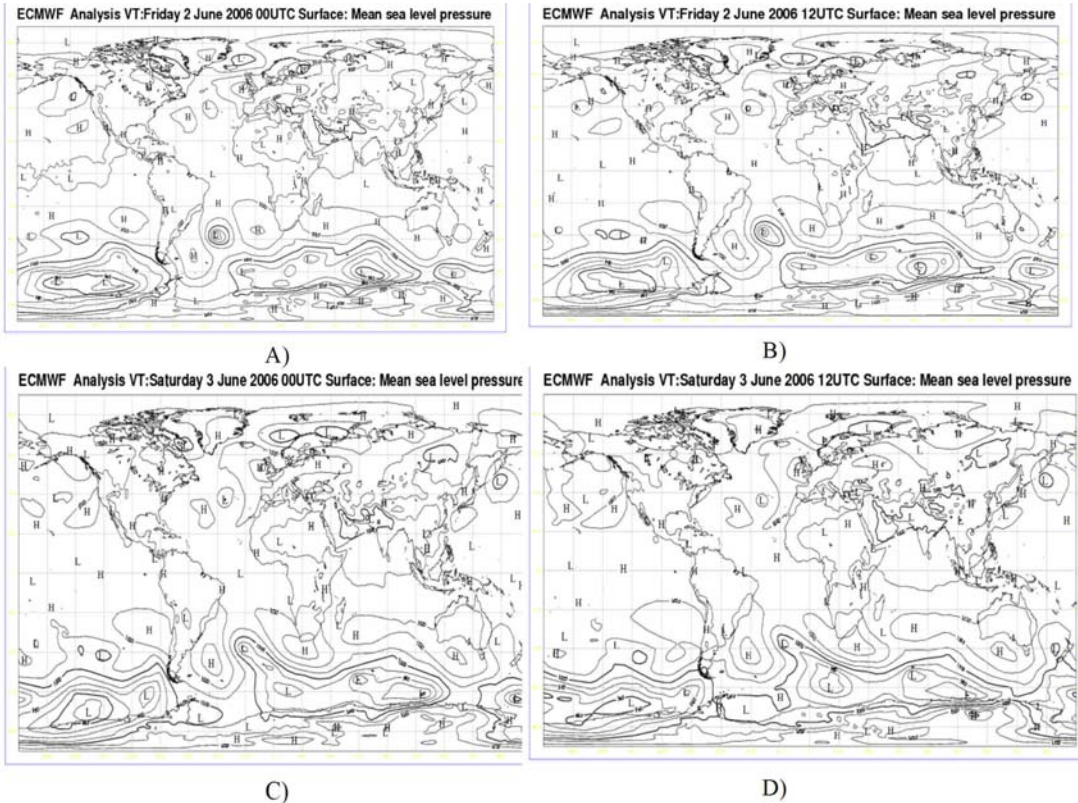


Figura 3.- Presión media a nivel del mar según el análisis del ECMWF para el 2 de junio a las 00 UTC (A), 2 de junio a las 12 UTC (B), 3 de junio a las 00 UTC (C) y 3 de junio a las 12 UTC (D).

El máximo gradiente observado en los análisis de la presión a nivel del mar se verifica también en el modelo GFS (figura 4) donde se observa para el 2 de junio velocidades superiores a 35 nudos con dirección hacia Canarias a lo largo de más 1.000 mn.

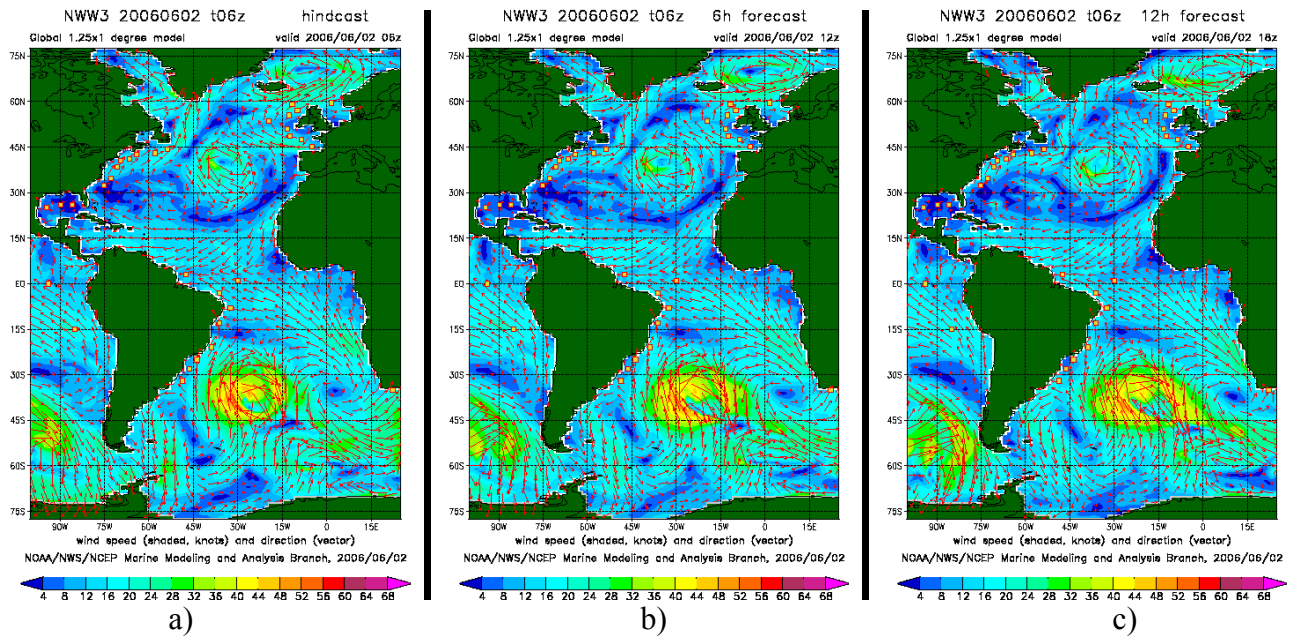


Figura 4.- Mapas de velocidad (nudos) y dirección del viento del modelo de predicción atmosférico GFS para el día 2 de junio, con pasada de las 06 UTC de la NCEP (National Centers for Environmental Prediction) operado por la NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) y convertido en imágenes a la Web de Internet por el software NAWIPS, a) válido a las 06 UTC, b) válido a las 12 UTC y c) válido las 18 UTC.

La figura 5 muestra cuatro mapas de viento del satélite QuikSCAT en los cuales se constata la evolución del sistema predicha por los modelos numéricos atmosféricos (NOGAPS y GFS de figura 2 y 4 respectivamente), así como de los vientos alcanzados.

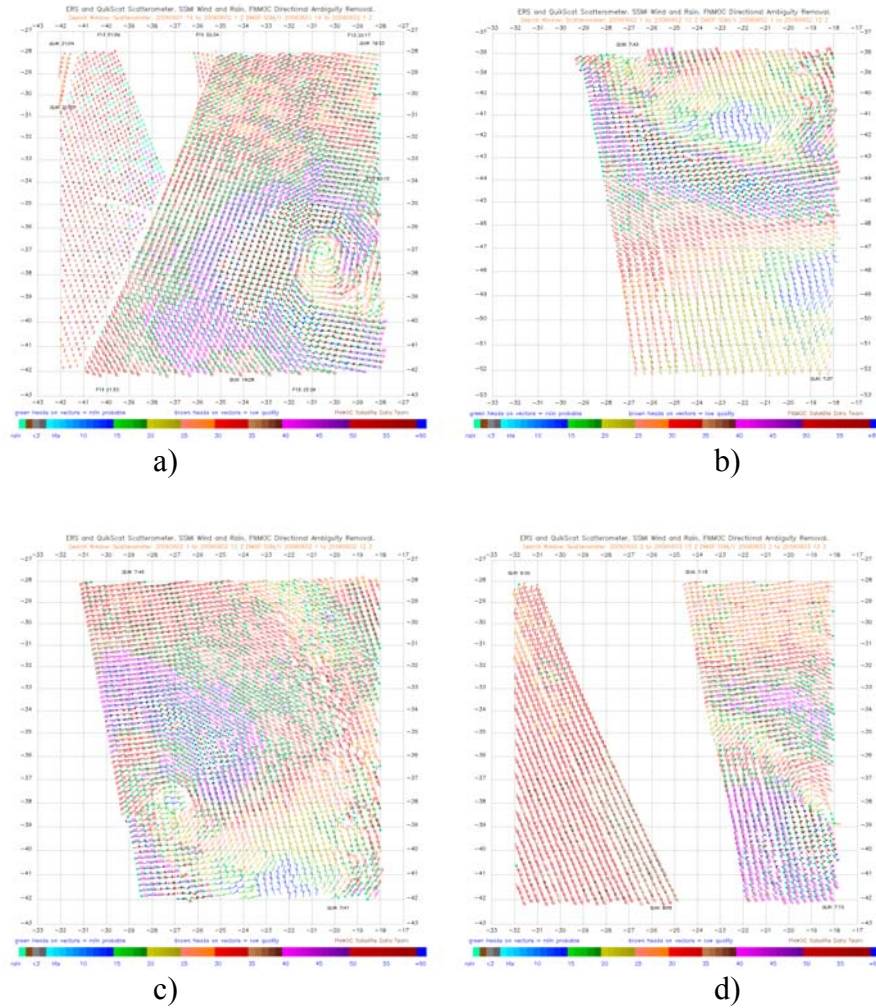


Figura 5.- Mapas de viento (dirección y velocidad) a 10 m de altura de la superficie del océano para los días 1, 2 y 3 de junio de 2006 recogidas por el scatterometer de alta resolución del satélite QuikSCAT operado por la NASA y procesado por la FNMOC Satellite Data Team, a) de 1 de junio de 2006 a 12 UTC a 2 de junio de 2006 a 01 UTC, b) de 2 de junio de 2006 a 01 UTC a 12 UTC c) de 02 de junio de 2006 de 13UTC a 03 de junio de 2006 a 00 UTC y d) de 3 de junio de 2006 a 02UTC a 13UTC.

Por otro lado el sistema de predicción de oleaje WAVEWATCHIII (WWIII), forzado por los campos de viento previstos por el sistema de predicción atmosférica NOGAPS, ambos operados por la FNMOC, predijo una extensión de mar de 500.000 km² con altura significativa de olas mayores de 9 m con dirección a Canarias sin encontrar ningún tipo de obstáculo (figura 6).

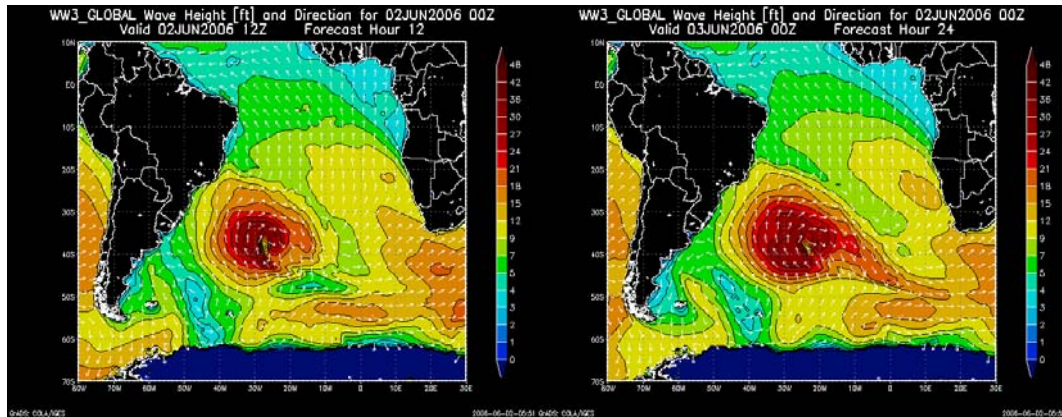
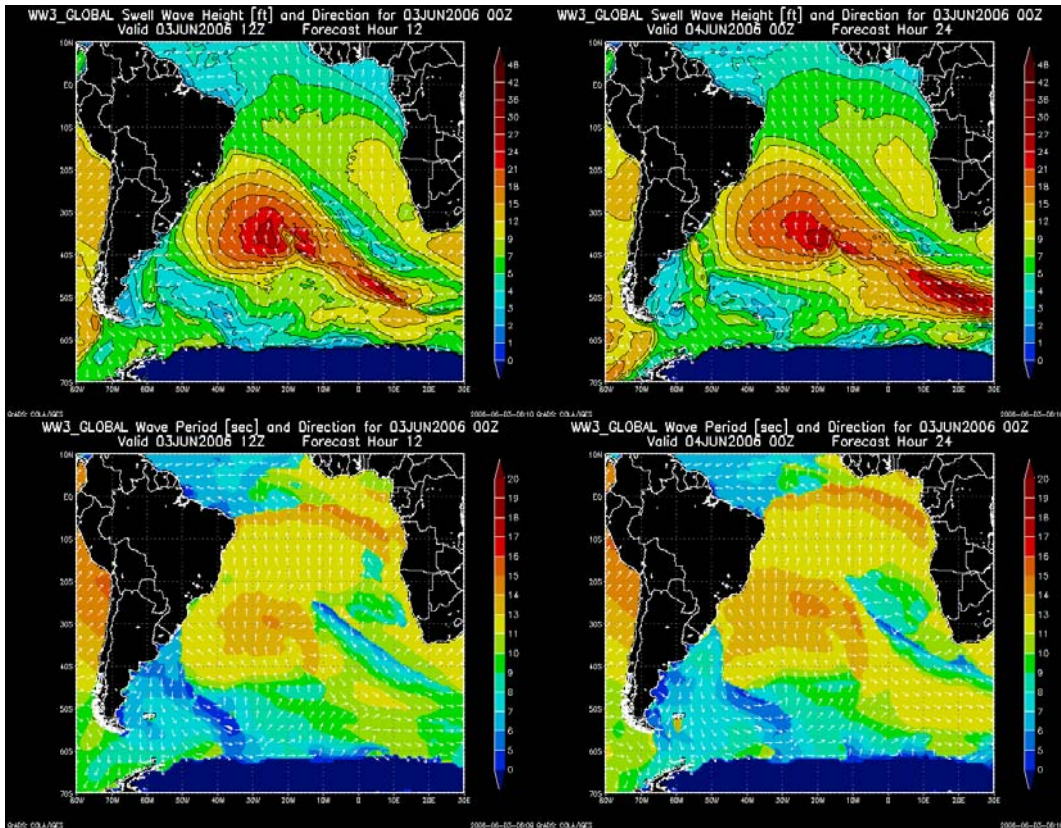
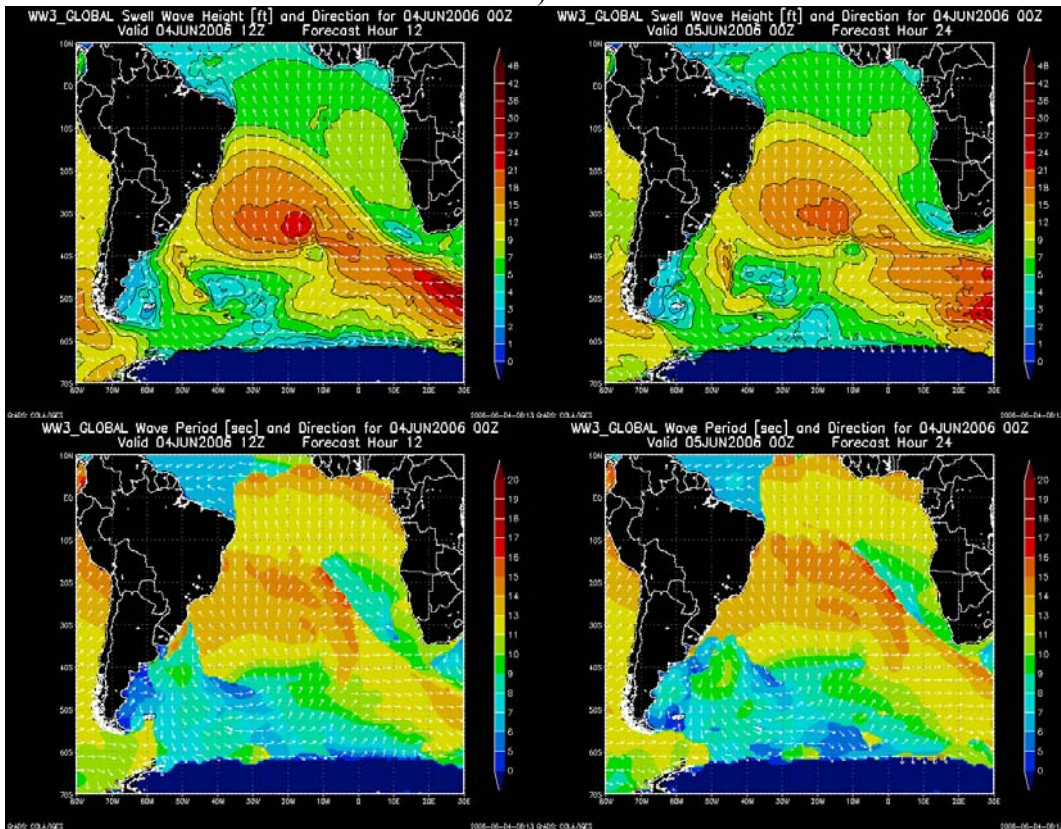


Figura 6.- Mapa de predicción de olas (altura y dirección de ola significativa) del modelo WAVEWATCHIII operado por la FNMOC ejecutado el 2 de junio de 2006 a las 00 UTC con horizonte de predicción de 12 y 24 horas.

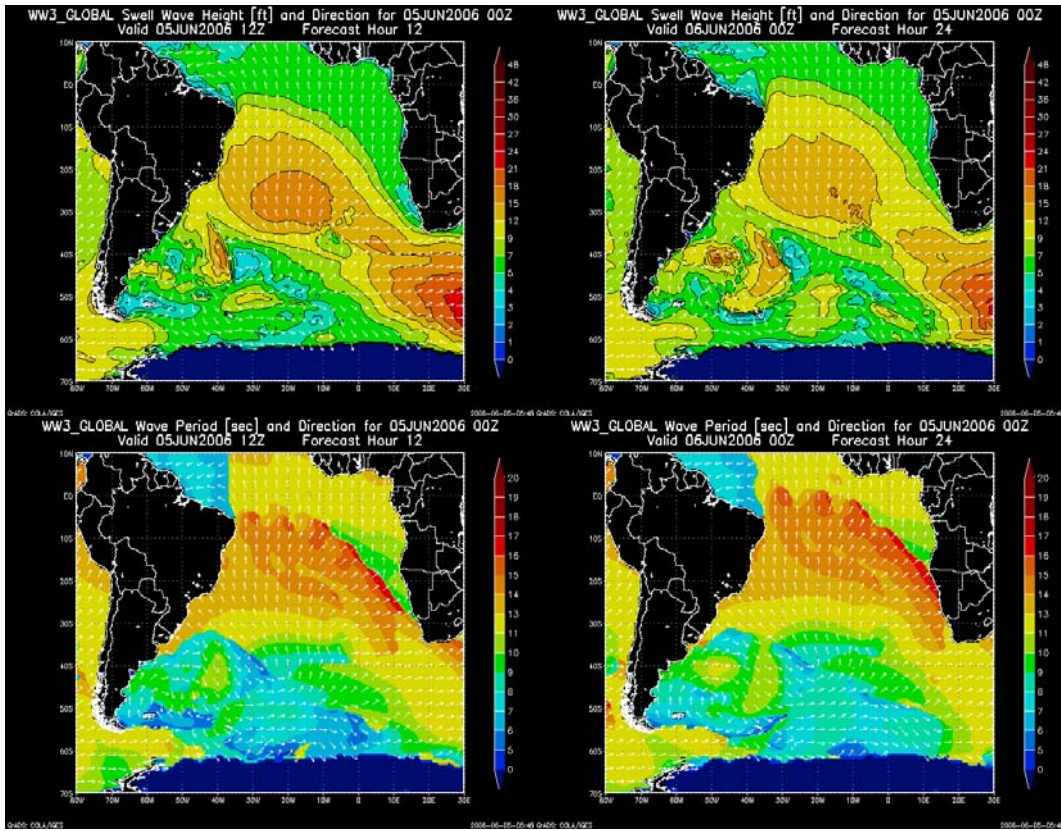
Una vez fuera de la zona de generación, la mar de fondo (swell) formado se propagó a lo largo de 4.000 mn hasta llegar a nuestras costas. En este largo recorrido el oleaje se fue atenuando, disipándose las ondas de baja energía y disminuyendo progresivamente la altura de las de alta energía, a la vez que fue aumentando el periodo de pico del oleaje, y se fue organizando por periodos en grupos (se acompañan las olas con la misma velocidad). En la figura 7 se aprecia como a lo largo de los días posteriores las alturas de ola de mar de fondo van disminuyendo y los periodos de pico aumentando, por lo que se va produciendo un ensanchamiento progresivo del grueso del oleaje.



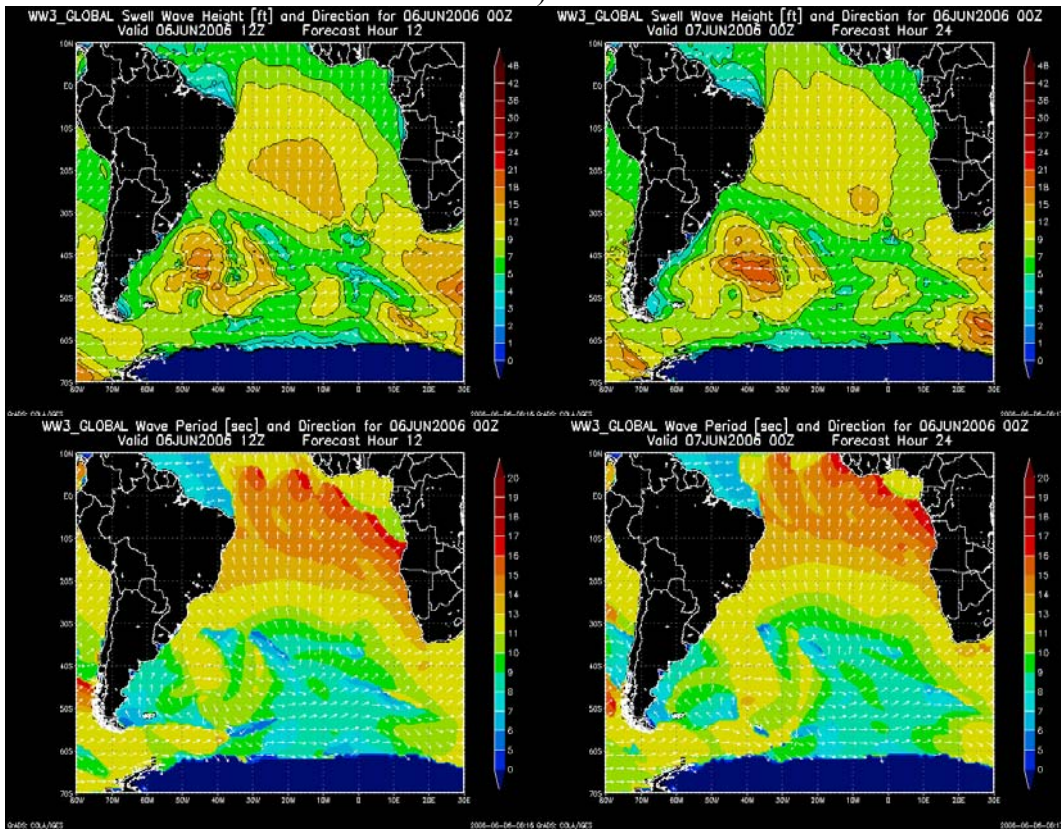
a)



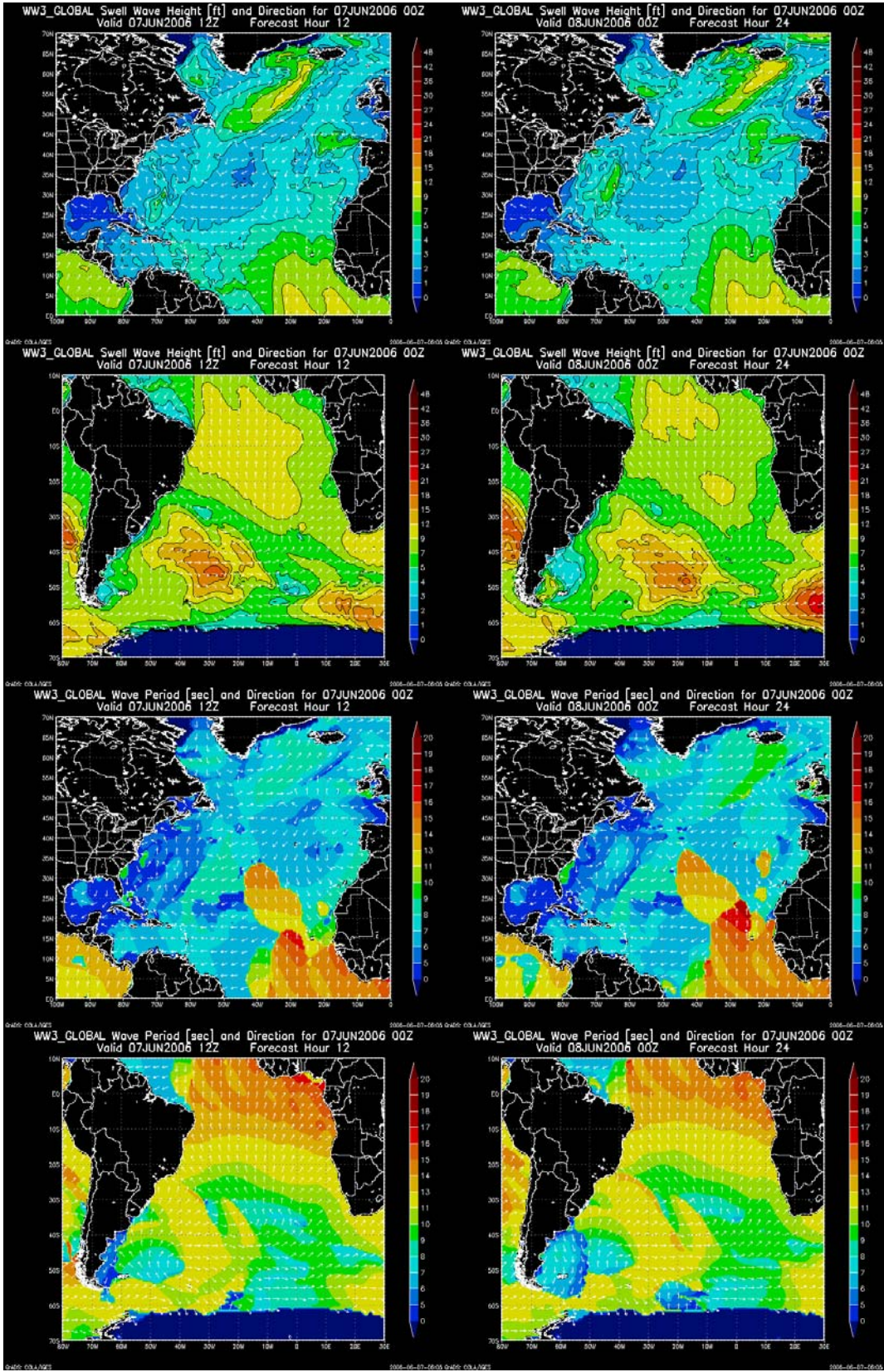
b)



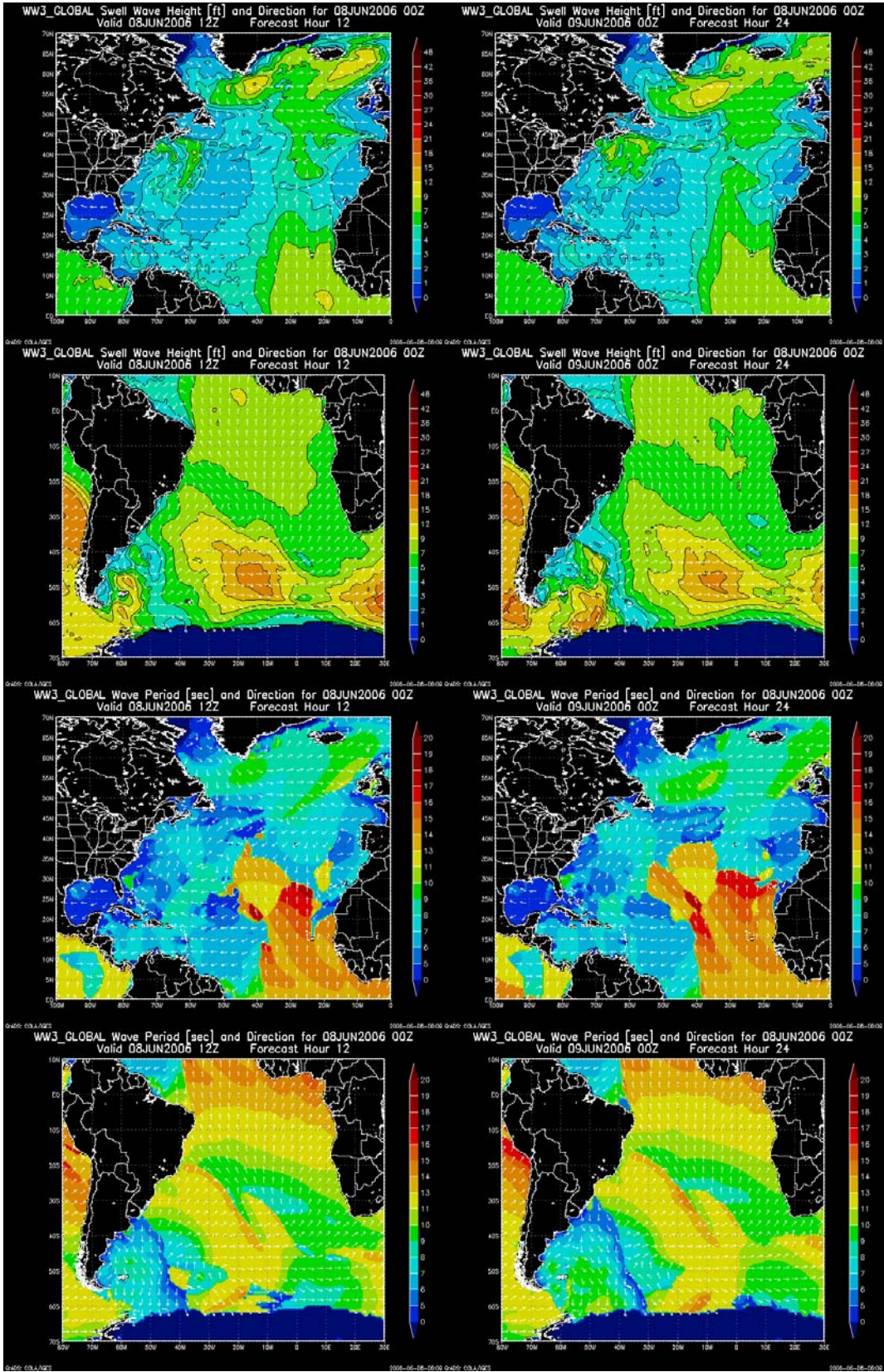
c)



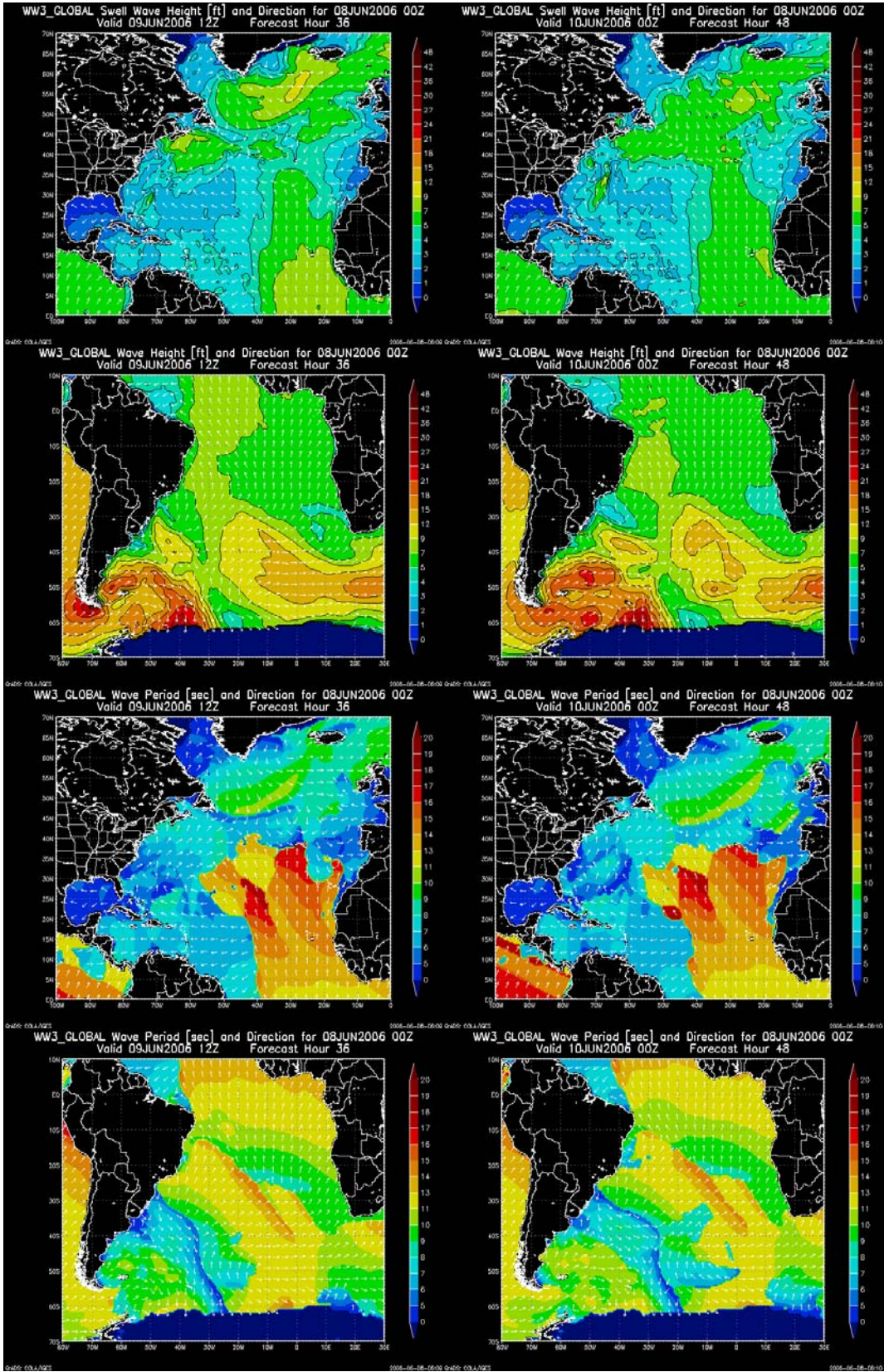
d)



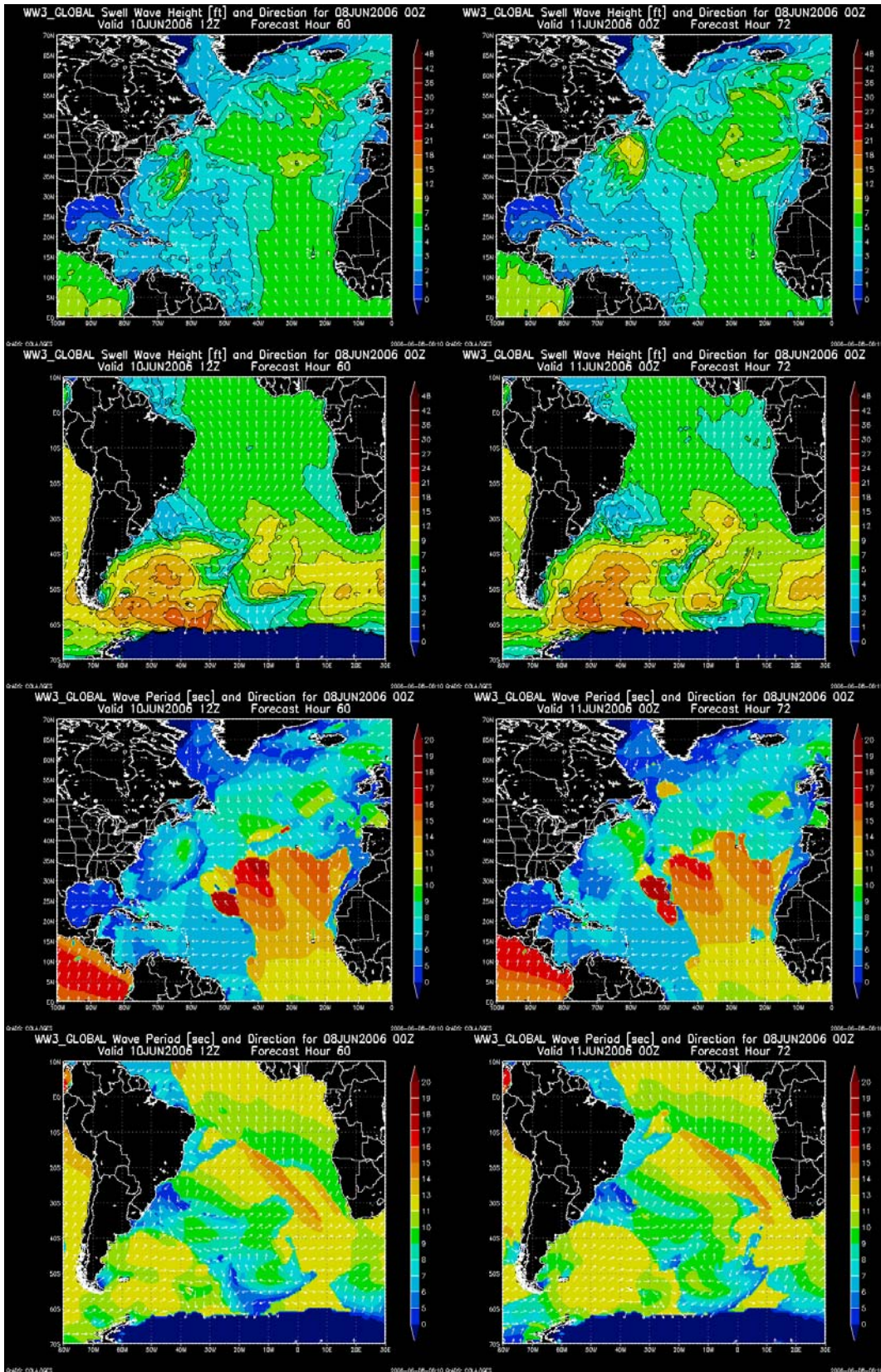
e)



f)



g)



h)

Figura 7.- Mapas de predicción de olas (altura y dirección del swell y periodo y dirección de pico) del modelo WAVEWATCHIII operado por la FNMOC con la pasada de las 00 UTC para el periodo de estudio del año 2006. a) válidos para el 3 de junio a las 12 UTC y 4 de junio a las 00 UTC, b) válidos para el 4 de junio a las 12 UTC y 5 de junio a las 00UTC, c) válidos para el 5 de junio a las 12UTC y 6 de junio a las 00 UTC, d) válidos para el 6 de junio a las 12 UTC y 7 de junio a las 00 UTC, e) válidos para el 7 de junio a las 12 UTC y 8 de junio a las 00 UTC, f) válidos para el 8 de junio a las 12 UTC y 9 de junio a las 00 UTC, g) válidos para el 9 de junio a las 12 UTC y 10 de junio a las 00 UTC, h) válidos para el 10 de junio a las 12 y 11 de junio a las 00 UTC.

En los mapas de periodos de pico (figura 7 (e, f y g)) se observa con claridad como se empieza a sentir el oleaje en las islas (a la altura del paralelo 28°N) en la mañana del día 8 de junio con periodos de pico de 17 s y con alturas de olas de mar de fondo menores de 5 pies (1.5 m). Para los dos días siguientes se observa como llega progresivamente el grueso del oleaje con alturas de mar de fondo de 5 pies y periodos de pico de 15 s y 14 s.

Las condiciones de contorno de la malla del modelo WAM de generación de oleaje distribuido por el Organismo Público Puertos del Estado (OPPE), conjuntamente con el Instituto Nacional de Meteorología (INM), sólo recogen el área del Atlántico Norte (figura 8; Límites: de 18° a 69° Norte, y de -60° a 9° Este) por lo que no pudieron predecir las características de este oleaje, así como de su posterior propagación y arribada a las islas.

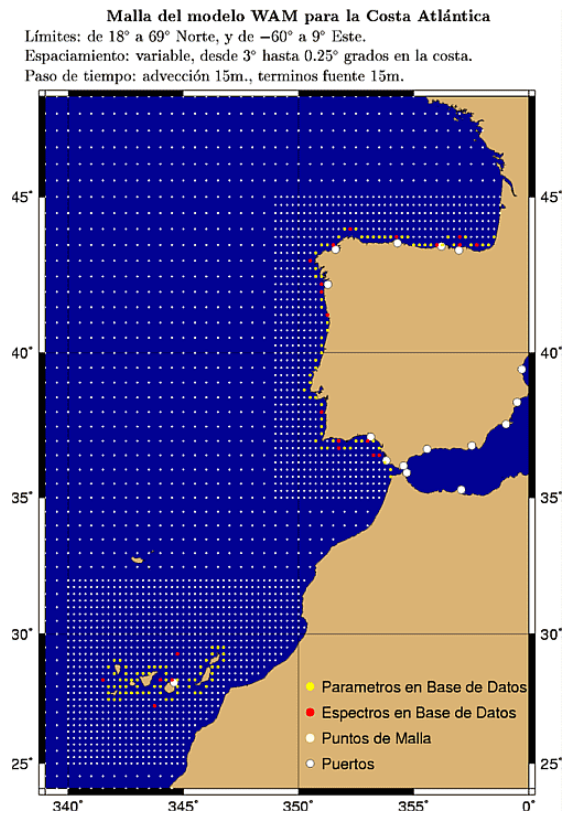


Figura 8.- Malla del modelo WAM para la costa Atlántica.

A partir del Sistema de Predicción de Oleaje (SPO) de Puertos del Estado (PE) / Instituto Nacional de Meteorología (INM) se obtienen los siguientes mapas (figuras 9, 10 y 11) donde se representa el oleaje (mar de viento y mar de fondo) según la salida del modelo WAM para Canarias los días 8, 9 y 10 de junio de 2006 a las 12 UTC respectivamente:

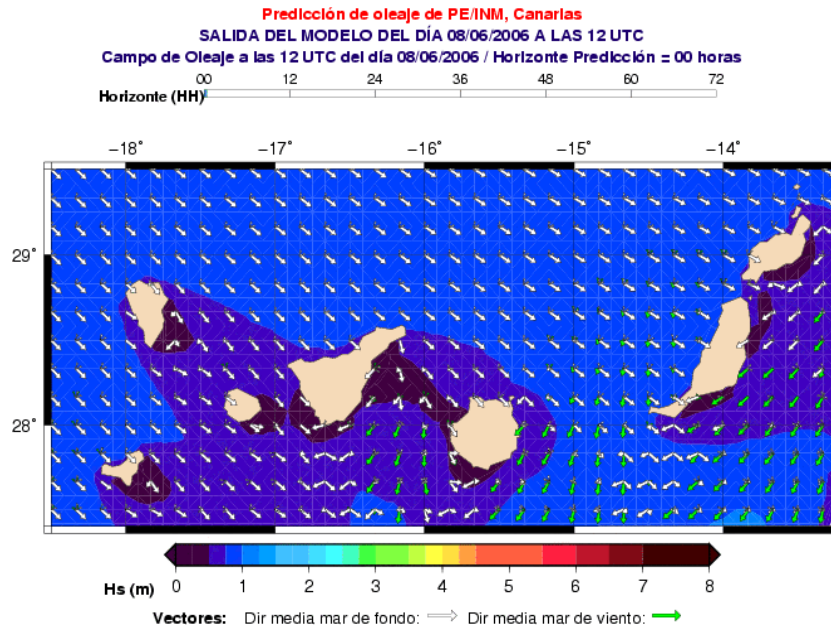


Figura 9.-Oleaje a las 12 UTC del día 08/06/06 según el modelo WAM

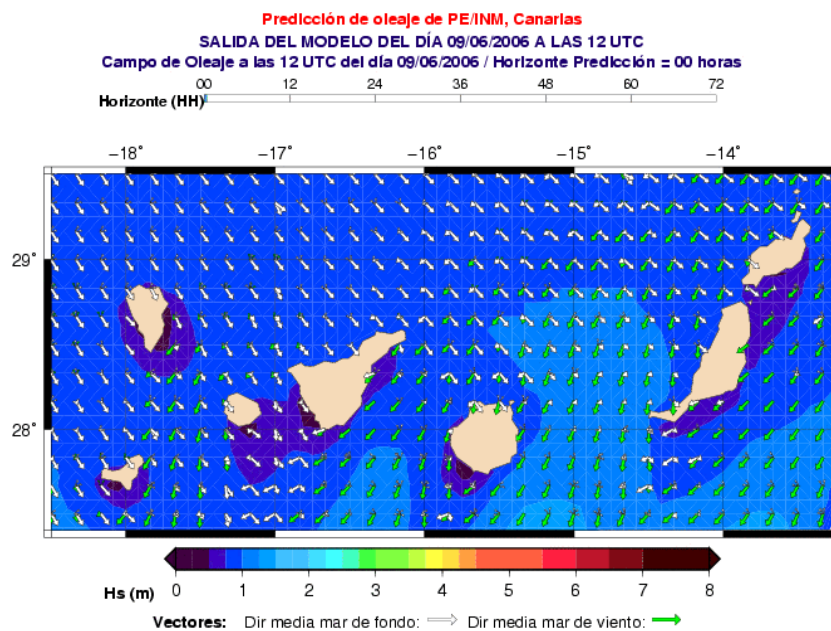


Figura 10.-Oleaje a las 12 UTC del día 09/06/06 según el modelo WAM

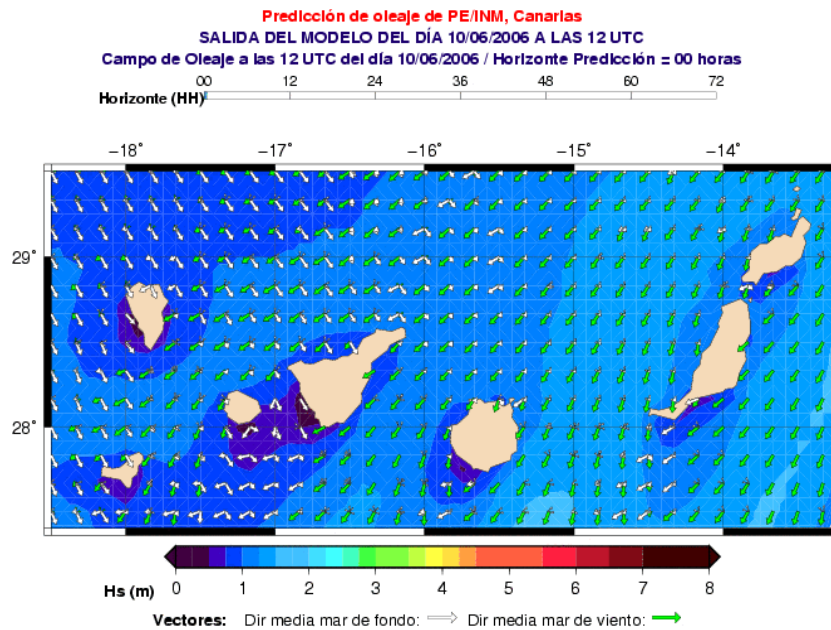


Figura 11.-Oleaje a las 1200 UTC del día 10/06/06 según el modelo WAM

Según las predicciones de oleaje del SPO del PE/INM en la zona sur de las islas para el día 8 de junio 2006 se observa en general un mar de viento de 0 a 1 m de dirección N-NNE y una mar de fondo primaria de 0 a 1 m con predominio del WNW y secundaria del ENE. Para el día 9 de junio el mar de viento es del NNE-NE de 1 a 2 m y mar de fondo de 1 a 2 m primaria del WNW y secundaria del NE. Por último para el día 10 el mar de viento predominante es de 1 a 2 m del NE y mar de fondo de 1 a 2 m primaria del ENE y secundaria del NW.

Las predicciones para aguas costeras de Gran Canaria extraídas del modelo WAM y elaboradas por el GPV (Grupo de predicción y vigilancia) del C.M.T. en Canarias Oriental para los días 8, 9 y 10 fueron:

FQXX41 GCGC 080400
 (EXTRACTO DEL BOLETÍN)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
 BOLETIN METEOROLOGICO Y MARINO PARA LAS ZONAS COSTERAS
 DE LA COMUNIDAD AUTONOMA DE CANARIAS

DIA 08 DE JUNIO DE 2006 A LAS 0800 UTC

3.- PREDICION VALIDA HASTA LAS 2400 UTC DEL DIA 08

-AGUAS COSTERAS DE GRAN CANARIA:
 NORTE A NORDESTE FUERZA 3 A 4, Y VARIABLE FUERZA 2 A 3 CON REGIMEN
 DE BRISAS EN COSTAS SUR Y SUROESTE. MAREJADILLA AUMENTANDO A
 MAREJADA EN COSTAS ESTE Y SUR. CON AREAS DE MAREJADA EN EL RESTO
 AL FINAL. **MAR DE FONDO DEL NOROESTE INFERIOR A 1 METRO.**

FQXX41 GCGC 090400
(EXTRACTO DEL BOLETÍN)

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
BOLETIN METEOROLOGICO Y MARINO PARA LAS ZONAS COSTERAS
DE LA COMUNIDAD AUTONOMA DE CANARIAS
DIA 09 DE JUNIO DE 2006 A LAS 0800 UTC

3.- PREDICCION VALIDA HASTA LAS 2400 UTC DEL DIA 09

-AGUAS COSTERAS DE GRAN CANARIA:
NORTE A NORDESTE FUERZA 4, CON INTERVALOS DE FUERZA 5 EN COSTA
SURESTE Y VARIABLE FUERZA 3 EN COSTA SUROESTE. MAREJADILLA A
MAREJADA
Y RIZADA EN COSTA SUROESTE. **MAR DE FONDO DEL NOROESTE CON OLAS DE
HASTA 1 METRO.**

FQXX41 GCGC 100400
(EXTRACTO DEL BOLETÍN)
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA
BOLETIN METEOROLOGICO Y MARINO PARA LAS ZONAS COSTERAS
DE LA COMUNIDAD AUTONOMA DE CANARIAS
DIA 10 DE JUNIO DE 2006 A LAS 0800 UTC

3.- PREDICCION VALIDA HASTA LAS 2400 UTC DEL DIA 10

-AGUAS COSTERAS DE GRAN CANARIA:
NORDESTE FUERZA 3 A 4, CON INTERVALOS DE FUERZA 5 EN COSTAS
NOROESTE Y SURESTE; VARIABLE FUERZA 2 A 3 EN COSTA SUROESTE.
MAREJADA Y RIZADA EN COSTA SUROESTE. **MAR DE FONDO DEL NORTE DE
HASTA 1 METRO.**

En general las predicciones para estos días reflejadas en los boletines anteriores citan un estado de la mar para estos días de marejadilla a marejada en general y rizada en costas suroeste y mar de fondo del norte del noroeste y norte de hasta 1 m.

A continuación , en la tabla 1, se muestran los valores numéricos de los campos de viento y oleaje producidos por el WAM de Canarias para los días 8, 9 y 10 de junio de 2006 en la posición 27.25N; 17.25W (suroeste de la Gomera y sureste de El Hierro) cada tres horas.

Fecha (aammddhh)	Viento		Mar Total				Mar de Viento			Mar de Fondo 1			Mar de Fondo 2		
	Vv (m/s)	Dir	Hs (m)	Dir	Tz (s)	Tp (s)	Hs (m)	Dir	Tz (s)	Hs (m)	Dir	Tz (s)	Hs (m)	Dir	Tz (s)
2006060800	4.69	NNW	0.74	NW	5.22	7.72	0.08	NNW	2.68	0.69	NW	6.04	0.21	NNE	6.29
2006060803	4.69	NNW	0.74	NW	4.27	7.63	0.15	NNW	2.69	0.66	NW	6.08	0.19	NNE	6.31
2006060806	4.57	NNE	0.74	NW	4.03	7.56	0.19	N	2.72	0.64	NW	6.06	0.18	NNE	6.25
2006060809	4.57	NNE	0.73	NW	4.01	7.50	0.20	N	2.79	0.61	NW	6.09	0.18	NW	3.23
2006060812	3.28	NNE	0.69	NW	4.51	7.43				0.60	NW	5.93	0.19	NNW	2.99
2006060815	3.28	NNE	0.67	NW	4.65	7.36				0.61	NW	5.50	0.24	ENE	3.87
2006060818	5.05	N	0.73	NNW	3.86	7.26	0.26	NNW	2.95	0.57	NW	6.08	0.29	ENE	4.00
2006060821	5.05	N	0.79	NNW	3.86	7.18	0.33	NNW	3.19	0.51	NW	6.79	0.33	WNW	3.79
2006060900	6.30	NNE	0.84	NNW	3.78	7.13	0.41	N	3.32	0.48	NW	6.87	0.38	NW	3.95
2006060903	6.30	NNE	0.88	N	3.77	7.09	0.46	N	3.40	0.46	NW	6.98	0.39	ENE	4.51
2006060906	5.08	NNE	0.87	N	3.90	4.66				0.52	NNW	3.81	0.48	ENE	4.23
2006060909	5.08	NNE	0.89	N	3.97	4.85	0.33	N	3.41	0.52	ENE	4.35	0.46	NW	7.02
2006060912	5.06	NE	0.91	N	4.03	4.97				0.57	ENE	4.36	0.49	NNW	3.90
2006060915	5.06	NE	0.92	NNE	4.08	5.28				0.63	ENE	4.30	0.41	NNW	3.89
2006060918	3.93	NNE	0.92	NNE	4.29	5.47				0.61	ENE	4.40	0.50	NW	7.00
2006060921	3.93	NNE	0.94	NNE	4.38	5.92				0.63	ENE	4.51	0.50	NNW	7.03
2006061000	4.90	NE	0.99	NNE	4.29	6.04				0.48	NNW	7.23	0.44	ENE	4.46
2006061003	4.90	NE	1.03	NNE	4.32	5.80				0.48	NNW	7.19	0.48	ENE	4.45
2006061006	4.55	NE	1.05	NNE	4.41	5.83				0.81	ENE	4.70	0.50	NNW	6.85
2006061009	4.55	NE	1.05	NE	4.45	5.87				0.84	ENE	4.75	0.46	NNW	7.18
2006061012	5.05	ENE	1.06	NE	4.40	5.91				0.79	NE	4.42	0.44	NNW	7.16

Tabla 1: Viento: Vv: Velocidad del viento a 10 m (m/s). Dir: Dirección de procedencia del viento. Mar total: Hs: Altura significativa del mar total (m) Dir: Dirección media de propagación del mar total. Tz: Periodo medio del mar total (s). Tp: Periodo de pico del mar total (s). Mar de viento: Hs: Altura significativa del mar de viento (m) Dir: Dirección de propagación de la mar de viento. Tz: Periodo medio de la mar de viento (s). Mar de fondo 1: Hs: Altura significativa de la swell primaria (m). Dir: Dirección de propagación de la swell primaria. Tz: Periodo medio de la swell primaria (s) Mar de fondo 2: Hs: Altura significativa de la swell secundaria (m) Dir: Dirección de propagación media de la swell secundaria. Tz: Periodo medio de la swell secundaria (s).

Los resultados obtenidos de las predicciones de oleaje del SPO del INM del modelo WAM para la posición 27.25N; 17.25W (suroeste de la Gomera y sureste de El Hierro) muestran para el día 8 de junio un predominio de mar de viento del NNW y una mar de fondo primaria del NW y secundaria del NNE. Para el día 9 de junio el mar de viento es del N y mar de fondo primaria ENE y secundaria NNW y para el día 10 se predice una mar de fondo primaria del ENE y secundaria del NNW. La altura de ola tanto del mar de viento como de fondo para los tres días según la salida del modelo fue inferior a 1 m.

En la tabla 2 se representan los mismos parámetros para los mismos días y horas en la posición 28.00N; 17.00W (suroeste de Tenerife y sureste de La Gomera).

Fecha (aammddhh)	Viento		Mar Total				Mar de Viento			Mar de Fondo 1			Mar de Fondo 2		
	Vv (m/s)	Dir	Hs (m)	Dir	Tp (s)	Tz (s)	Hs (m)	Dir	Tz (s)	Hs (m)	Dir	Tz (s)	Hs (m)	Dir	Tz (s)
2006060800	3.66	NNW	0.52	NW	5.32	7.63				0.36	NW	6.09	0.34	W	5.25
2006060803	3.66	NNW	0.51	NW	5.26	7.55				0.48	WNW	5.61	0.14	NNE	6.22
2006060806	3.35	N	0.49	NW	5.26	7.48				0.47	NW	5.60	0.13	NNE	6.14
2006060809	3.35	N	0.48	NW	5.26	7.41				0.38	NW	6.19	0.27	W	4.77
2006060812	2.71	NNW	0.48	NW	5.23	7.34				0.41	NW	6.18	0.21	W	4.36
2006060815	2.71	NNW	0.48	NW	4.87	7.26				0.41	NW	6.07	0.21	W	4.34
2006060818	4.60	NNW	0.56	NW	3.29	7.19	0.23	NNW	2.83	0.40	NW	6.48	0.20	W	4.36
2006060821	4.60	NNW	0.64	NNW	3.44	7.15	0.42	NNW	3.21	0.34	NNW	6.48	0.19	NW	7.98
2006060900	5.38	N	0.61	NNW	3.53	7.14	0.33	N	3.07	0.39	NW	6.82	0.20	NW	3.85
2006060903	5.38	N	0.64	NNW	3.57	7.15	0.38	N	3.17	0.40	NNW	6.96	0.20	NNW	4.18
2006060906	4.92	N	0.65	NNW	3.70	7.20	0.44	N	3.45	0.44	NW	6.44	0.07	ESE	4.93
2006060909	4.92	N	0.67	NNW	3.76	7.37	0.42	N	3.42	0.45	NW	6.58	0.18	NNW	4.54
2006060912	3.30	N	0.64	NNW	4.14	7.68				0.45	NNW	7.23	0.41	N	3.68
2006060915	3.30	N	0.62	NNW	4.35	7.88				0.47	NNW	7.24	0.35	N	3.65
2006060918	3.57	N	0.63	NNW	4.29	7.96				0.48	NNW	7.29	0.34	N	3.52
2006060921	3.57	N	0.66	NNW	4.22	7.98				0.48	NNW	7.35	0.38	N	3.56
2006061000	3.39	N	0.66	NNW	4.26	7.94				0.48	NNW	7.35	0.38	N	3.60
2006061003	3.39	N	0.65	NNW	4.27	7.89				0.48	NNW	7.34	0.37	N	3.62
2006061006	2.12	NNE	0.64	NNW	4.31	7.83				0.47	NNW	7.30	0.28	N	3.98
2006061009	2.12	NNE	0.63	N	4.26	7.77				0.46	NNW	7.25	0.37	N	3.71
2006061012	1.42	NNE	0.63	N	4.23	7.70				0.45	NNW	7.19	0.38	N	3.75

Tabla 2:**Viento:**Vv: Velocidad del viento a 10 m (m/s). Dir: Dirección de procedencia del viento. **Mar total:** Hs: Altura significativa del mar total (m) Dir: Dirección media de propagación del mar total. Tz: Periodo medio del mar total (s). Tp: Periodo de pico del mar total (s). **Mar de viento:** Hs: Altura significativa del mar de viento (m) Dir: Dirección de propagación de la mar de viento. Tz: Periodo medio de la mar de viento (s). **Mar de fondo 1:**Hs: Altura significativa de la swell primaria (m).Dir: Dirección de propagación de la swell primaria. Tz: Periodo medio de la swell primaria (s) **Mar de fondo 2:** Hs: Altura significativa de la swell secundaria (m) Dir:Dirección de propagación media de la swell secundaria. Tz:Periodo medio de la swell secundaria (s).

En este punto los resultados obtenidos de las predicciones de oleaje muestran para el día 8 de junio un predominio de mar de viento del NNW y una mar de fondo primaria del NW y secundaria del W. Para el día 9 de junio el mar de de viento es del N y mar de fondo primaria NNW y secundaria N y para el día 10 se predice una mar de fondo primaria del NNW y secundaria del N. La altura de ola tanto del mar de viento como de fondo para los tres días según la salida del modelo también fue inferior a 1 m.

Datos de oleaje:

La boya de agua profunda Tenerife Sur (figura 12; próxima a las dos puntos anteriormente propuestos) de la red de aguas profundas de la red exterior de Puertos del Estado, registró los datos de este oleaje cuando alcanzó las costas de Canarias.

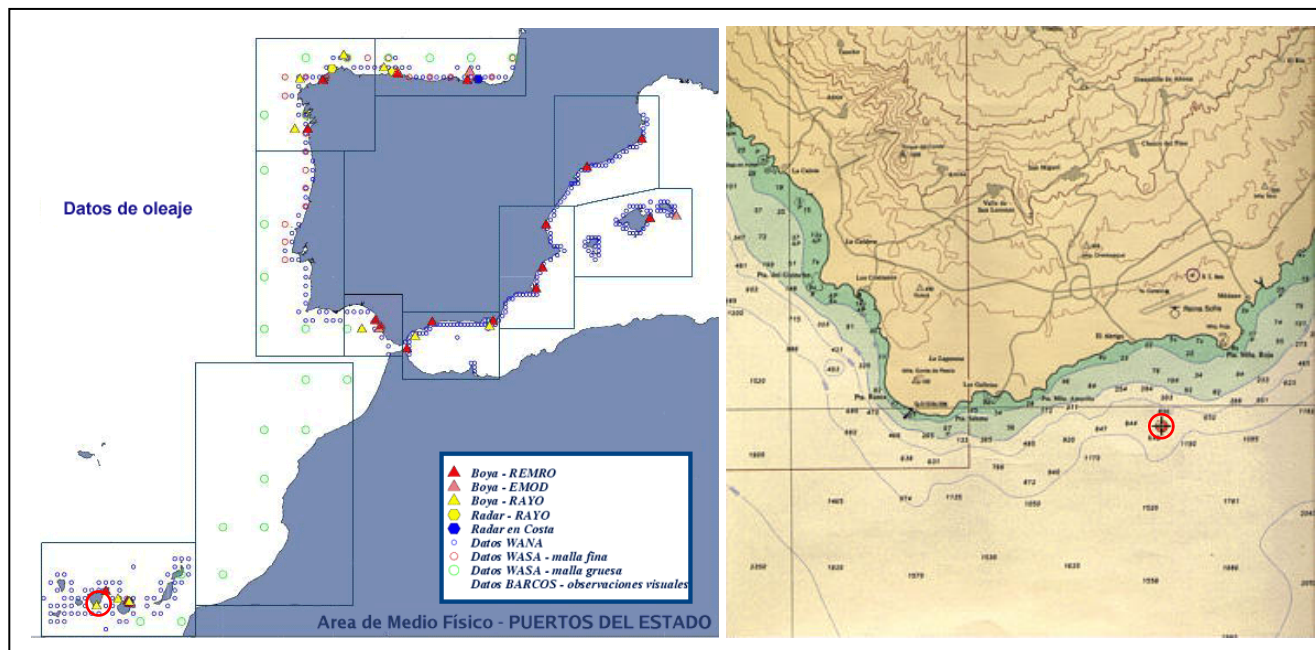
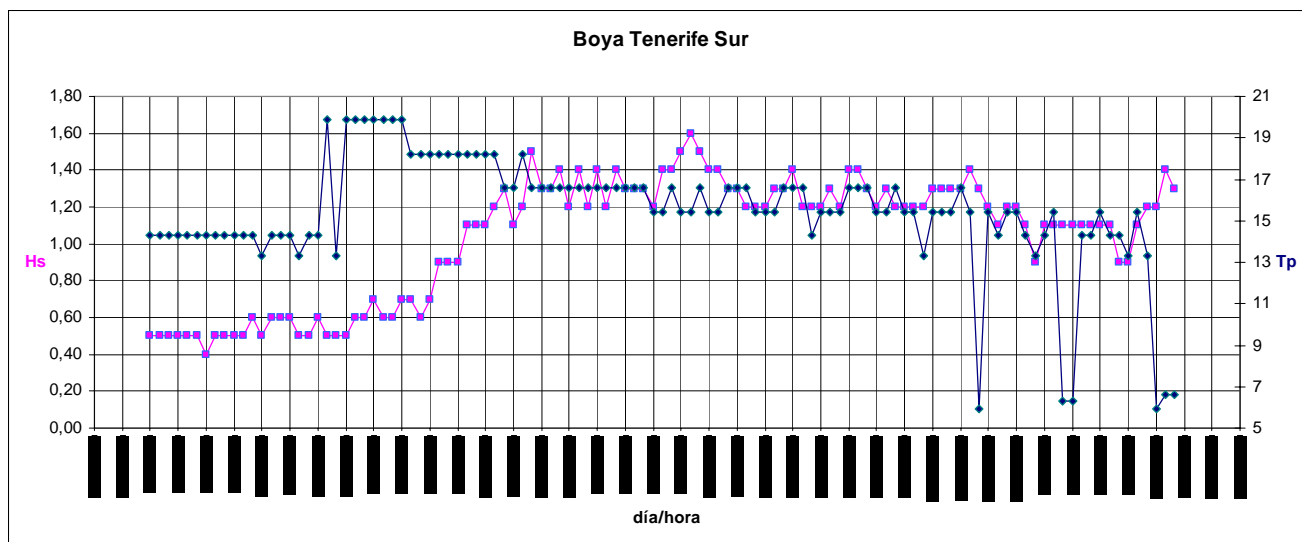
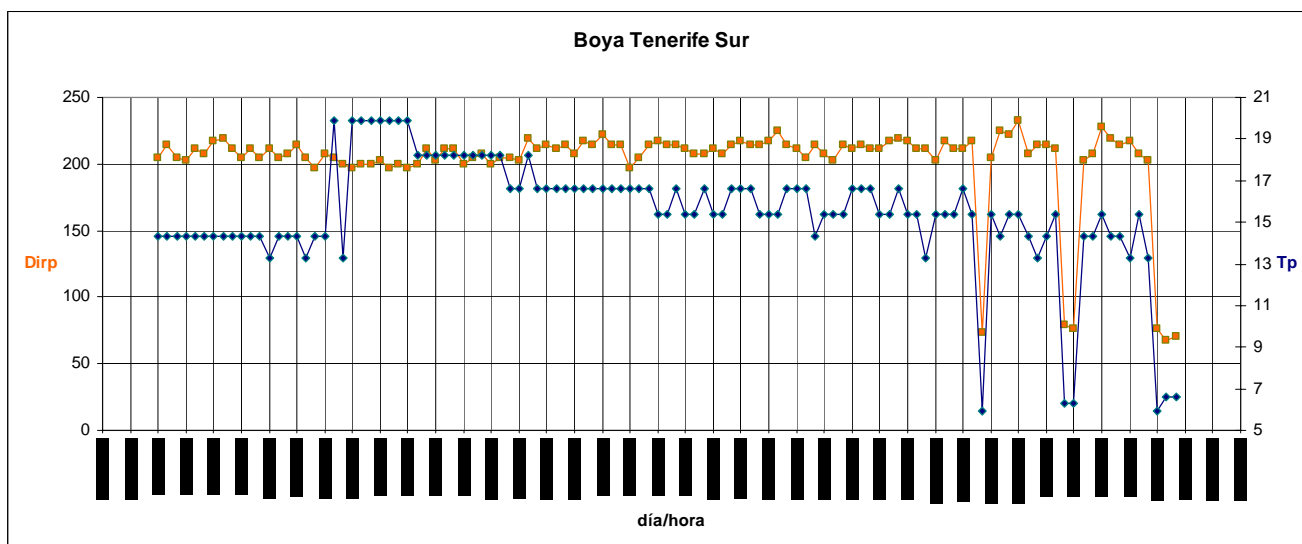


Figura 12.- Posición de la boya direccional Seawatch de agua profunda Tenerife Sur (Proyecto Rayo)

En la figura 12 se puede observar los datos de oleaje medidos por la boya, la cual comenzó a registrar esta fuerza de una manera ininterrumpida el 7 de junio a las 21:00 GMT con periodos de pico 19.9 s, altura de ola significativa de 0.5 m y dirección de pico 197°. En las 7 horas sucesivas el oleaje mantuvo estas características con periodos de pico altos de 19.9 s, dirección SSW y alturas bajas 0.5-0.7m.



a)



b)

Figura 13.- Datos de oleaje medidos por la boya direccional Seawatch de agua profunda Tenerife Sur (Proyecto Rayo). a) Hs: Altura significativa del oleaje (m) y Tp: periodo de pico del oleaje (s). b) Dirp: dirección de pico de procedencia del oleaje (grados) y Tp: periodo de pico del oleaje (s).

En la mañana del 8 de junio 2006, cuando el oleaje comenzaba a llegar con periodos de pico de 18.2 s, se registraba el aumento progresivo en altura, pasando de 0.6 m a las 5:00 GMT a 1.2 m a las 13:00 GMT. A continuación, mientras el periodo de pico pasaba a 16.6 s, la altura siguió aumentando hasta llegar a las 17:00 GMT a su cima (Hs: 1.5 m). Este máximo de altura se mantuvo durante las 48 h siguientes (hasta las 17:00 GMT del 10 de junio 2006) con periodos de pico de 16.6 s ininterrumpidamente durante 12 h y alternando con periodos de 15.4 s durante 36 h. A las 17:00 GMT del 10 de junio 2006, a la vez que se empezaba a registrar alternadamente otro oleaje, la mar de fondo perdía potencia, disminuyendo la altura (no sobrepasando los 1.1 m en altura a partir de las 20:00 GMT del mismo día) y los periodos de pico (alternándose los 15.4 s con periodos más

bajos 14.3 y 13.3 s). El otro oleaje que empezó a registrarse simultáneamente tenía características completamente distintas: provenía del este-noreste (Dirp entre 68°-79°), y llegaba con periodos de pico ≤ 6.6 correspondientes a mar de viento (resultado del régimen típico anticiclónico del verano que comenzaba a establecerse en las islas).

Imágenes de fotos:

Mientras la boya de Tenerife Sur registraba a las 8:00 GMT en agua profunda (sin sufrir peralte por efectos de fondo) una altura de ola significativa de 0.9 m, periodo de pico de 18.2 s y dirección de pico de 211°, en costa, en determinadas rompientes, las olas alcanzaban alturas ≥ 2 m. Estas alturas de olas rompiendo en costa se evidenciaron a las 8:43 GMT con una fotografía tomada por la cámara web instalada en un complejo de apartamentos de la Playa de San Agustín en la costa sur de Gran Canaria (figura 14). Se puede entrever la gran organización (seriado), así como la altura de la ola (por los transeúntes que se encuentran en el paseo marítimo).



Figura 14.- Fotografía tomada el 8 de junio de 2006 a las 8:43 (hora local) por la cámara web instalada en un complejo de apartamentos de la Playa de San Agustín en la costa sur de Gran Canaria (flecha roja).

Casi a la misma hora se tomaba otra fotografía del oleaje en la zona sureste de la isla (figura 15), en Pozo izquierdo. Las olas llegaban a esta zona de la isla tras sufrir la correspondiente difracción y correspondiente pérdida de altura, ya que el oleaje incidente tenía una dirección entre 200-215°. Aún así se observa un oleaje con un tamaño considerable (el bunker que se ve en plena costa tiene 2 m de altura) y bastante organizado, donde se pueden llegar a contar hasta 7 olas de la serie.



Figura 15.- Fotografía del oleaje tomada a las 9:00 GMT desde las Instalaciones del Instituto Tecnológico de Canarias, SA en Pozo Izquierdo en el sureste de la isla (flecha roja).

Los días siguientes, en los que se registraron alturas significativas de 1.5-1.6 m y periodos de pico de 16.6-15.4 s, en costa se llegaban a alcanzar los 3.5 m de altura en determinadas rompientes.

Discusión:

El modelo WW3 predijo la llegada de este oleaje, con periodo de pico de 18 s y 1.2 m, para la madrugada del 8 de junio 2006. Sin embargo la boya registraba con unas 7 horas de antelación olas con periodo de pico de 19.9 s y 0.5 m de altura significativa. Esta diferencia de casi 2 segundos con respecto a los periodos de 18 s señalados por el modelo WW3 se debió a que finalmente se llegaron a desarrollar y evolucionar olas de mayor periodo de pico a su llegada a Canarias, y esto equivale en definitiva a casi 7 horas en tiempo de antelación. Este oleaje precursor, aunque suele ser de bajo contenido energético (altura de ola en zona de rompiente ≤ 1 m), es importante ya que indica y anuncia la llegada del grueso del oleaje unas cuántas horas más tarde. A partir de la madrugada del 8 de junio 2006 el oleaje previsto por el modelo WW3 concordó con el registrado por la boya:

- para las 12:00 GMT del 8 de junio 2006 se habían previsto olas de Hs: 1.2 m y Tp:18 s y finalmente se registraban Hs: 1.1 m y Tp:18.2 s

- para las 00:00 GMT del 9 de junio 2006 se habían previsto olas de Hs:1.2-1.5 m y Tp:17 s y finalmente se registraban Hs: 1.5 m y Tp:16.6 s
- para las 12:00 GMT del 9 de junio 2006 se habían previsto olas de Hs: 1.2-1.5 m y Tp: 15 s y finalmente se registraban Hs: 1.4 m y Tp: 15.4 s
- para las 00:00 GMT del 10 de junio 2006 se habían previsto olas de Hs: 1.2-1.5 m y Tp: 15 s y finalmente se registraban Hs: 1.2 m y Tp: 15.4 s
- para las 12:00 GMT del 10 de junio 2006 se habían previsto olas de Hs: 1.2-1.5 m y Tp: 14 s y finalmente se registraban a las 11:00 GMT Hs: 1.2 m y Tp: 13.3 s
- para las 00:00 GMT del 11 de junio 2006 se habían previsto olas de Hs: 1.2-1.5 m y Tp: 14 s y finalmente se registraban Hs: 1.1 m y Tp: 14.3 s

A partir de la tarde del 11 de junio 2006, mientras el oleaje de componente sur empezaba a disminuir, tal y como preveía el modelo WW3, se empezaba a registrar simultáneamente otro oleaje con características distintas: un mar de viento que empezaba a desarrollarse por el fortalecimiento de un anticiclón en el Atlántico Norte.

Aunque las alturas correspondientes al oleaje proveniente del sur no sobrepasaban los 1.1 m en agua profunda, pero con periodos de pico todavía mayores a 13.3 s, en determinadas zonas de rompientes llegaban a alcanzar los 2 m. Sin embargo las olas provenientes del mar de viento que alcanzaban hasta 1.3 m de altura en agua profunda, pero con periodos que no sobrepasaban los 6.6 s, rompían en otras zonas áreas con casi la misma altura.

Esto nos da una idea de la importancia de estos oleajes del sur que conllevan largos periodos, que aunque las alturas de olas sean casi inapreciables en aguas profundas (una ola de 1 m de altura con periodo de pico de 18 s puede alcanzar 500 m de distancia entre crestas) al alcanzar la costa aumenta tanto el peralte, que las olas pueden llegar a triplicar su altura en determinadas rompientes.

Es necesario, así mismo, hacer hincapié en el fenómeno de agrupamiento tan acusado que se produce en este tipo de oleaje. Para los días 8, 9 y 10 de junio (los de mayor oleaje), se observó que las olas se agrupaban en series de 8-10 olas con entretiempos que llegaron hasta los 30 minutos. Este fenómeno de formación de grupos de olas hay que tenerlo también muy en cuenta, ya que podría producir errores en las medidas de las boyas, así como una falsa percepción del estado de la mar en los momentos de calma.

La mar de fondo procedente del Atlántico Sur, que azota la zona sur turística de las islas (de alto interés del ámbito portuario, turismo, ocio, pesca, salvamento marítimo, gestión de playas, etc.), aunque es bastante habitual en primavera y verano (otoño e invierno austral), en determinadas ocasiones llega al Archipiélago con tanta energía que provoca estropicios y destrozos en muelles y playas, dejando impracticables las zonas de baño y demás actividades de ocio.

Esta mar de fondo procedente del Atlántico Sur no fue estimado y no está siendo estimado por el SPO del INM/OPPE (figuras 9,10 y 11, boletín meteorológico y marino para las zonas costeras de la comunidad autónoma de canarias y Tablas 1 y 2) por no incorporar las condiciones de contorno del Atlántico Sur y todo lo que aquí pueda acontecer.

En la actualidad ninguna entidad e institución pública española está dando a conocer la llegada de estos fenómenos a la zona sur de las islas, con los riesgos y peligros que ello puede conllevar en una zona marítima de alto valor turístico y de ocio.

Conclusiones:

En general los datos de oleaje de la mar de fondo que llega a Canarias proveniente del hemisferio sur previstos por el modelo WW3 se corroboran con los registrados por la boya Tenerife Sur y en definitiva con el oleaje acontecido.

Los estudios de validación tanto del modelo WW3 como del WAM han mostrado que el error más importante en la determinación del oleaje es el que se deriva del error de los campos de viento, por lo que si los campos de viento previstos son buenos, está asegurada una buena predicción. Por tanto es de esperar que al incorporar las condiciones de contorno del Atlántico Sur al modelo WAM, el sistema de predicción de oleaje, distribuido por el Organismo Público Puertos del Estado (OPPE) conjuntamente con Instituto Nacional de Meteorología (INM), pueda prever y estimar con bastante exactitud tanto la llegada como las características de la mar de fondo generado en esas latitudes del sur.

El fenómeno de formación de grupos de olas, por el gran número de olas que congregan en las series y los entretiempos de calma tan largos, requiere para su mayor conocimiento y comprensión la realización de un estudio más detallado.

Referencias:

<https://www.fnmoc.navy.mil/PUBLIC/index.html>

http://polar.ncep.noaa.gov/waves/main_int.html

<http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/hires/>

<http://www.puertos.es/index2.jsp?langId=1&catId=1014806377970&pageId=1037009598954>

<http://www.aaa-production.com/webcams.html>