

## Episodio de mar de fondo del sur en Canarias (del 9 al 16 agosto de 2023)

IRENE PEÑATE (AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA-AEMET) Y EDUARDO PORTILLO (INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS-ITC)

Este caso de estudio está enmarcado en situaciones adversas de oleaje debidas a mar de fondo que afecta a las islas Canarias procedentes del Atlántico Sur

El último evento causó impacto en las costas sureñas de las islas entre los días 11 y 16 de agosto de 2023, incidiendo principalmente en Tenerife, El Hierro y Gran Canaria; Fuerteventura y La Gomera se vieron afectadas de manera menos acusada y La Palma en menor medida. Este episodio coexistió con una situación adversa que motivó la emisión de un aviso costero por viento generalizado del norte o nordeste (fuerza 7).

### 1.- Efectos socioeconómicos

Este tipo de oleaje suele producir incidentes como los reportados en el episodio analizado, entre los que destacan: pérdidas de vidas humanas por ahogamiento, personas en riesgo debido al estado de la mar, así como complicaciones respecto al tráfico marítimo. Además, si estos episodios significativos coinciden con mareas vivas, el problema se intensifica y agudiza aún más, ya que entonces implica afecciones a determinadas infraestructuras costeras. La figura 1 recoge las zonas de afección en comparación con otro episodio de

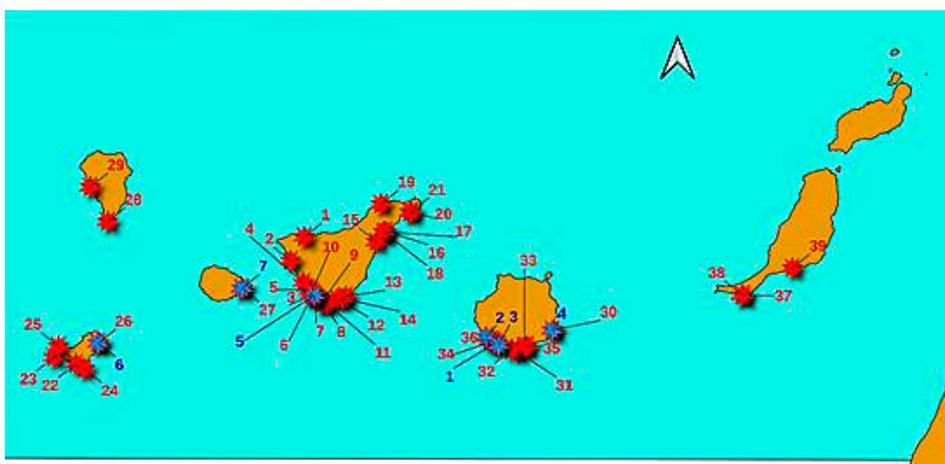


Figura 1. Zonas de afección de mar de fondo en Canarias. Comparación de eventos entre junio y agosto de 2023. Orlando Javier Pazos Machín (Aemet)

menor impacto que tuvo lugar en junio de 2023.

### 2.- Caracterización

Este mar de fondo tiene su origen en borrascas que se localizan en la zona del Atlántico Sur próxima a la Patagonia (entre 50-60° S) y que se dirigen hacia la zona ecuatorial, de forma que el fetch generador del mar de fondo apunte varios días hacia el estrecho pasillo inter-

hemisférico sur-norte, que configuran las costas de África y Sudamérica, por el que el mar de fondo alcanza las islas Canarias. Generalmente, los episodios más significativos tienen lugar a finales de primavera y verano (otoño e invierno austral). A pesar de ser un fenómeno poco frecuente, suele acontecer un evento considerable al año o cada dos afectando a las costas del sur, siendo prácticamente inofensivo en alta mar.

El oleaje del episodio ya se pudo detectar el día 2 de agosto tanto por la dirección de propagación de la borrasca generadora del mismo como por su potencia. Se realiza un seguimiento de su propagación durante 6 o 7 días antes de la incidencia de la situación adversa que comienza a manifestarse el viernes día 11 de agosto en las costas del sur de las islas más occidentales.

En la tabla 1 se muestra un resumen de los parámetros del oleaje para el periodo del 10 al 16 de agosto correspondientes a la boya Tenerife Sur de Puertos del Estado (<https://www.puertos.es/es-es>).

Las alturas de oleaje en esta boya suelen ser inferiores a los valores de la tabla en aguas profundas, donde se suelen ob-

Fecha	H (UTC)	Dm (°)	Dp (°)	Tm (s)	Tp (s)	Hx (m)	Hs (m)
10/08/2023	02	99	177	4.22	18.75	1.38	0.94
11/08/2023	00	131	214	5.31	16.41	1.97	1.41
12/08/2023	00	148	180	5.94	18.36	2.53	1.64
13/08/2023	00	167	200	7.66	16.99	<b>3.31</b>	<b>2.46</b>
14/08/2023	07	133	191	5.31	<b>18.75</b>	2.66	1.64
	08	151	203	5.47	<b>18.75</b>	2.06	1.29
	09	157	211	5.78	<b>18.75</b>	2.16	1.29
	16	118	197	5	<b>18.75</b>	2.41	1.78
15/08/2023	00	128	214	5.31	17.97	2.56	1.64
16/08/2023	00	122	186	5.47	15.43	2.72	1.88

Tabla 1. Parámetros del oleaje en la boya Tenerife Sur de Puertos del Estado para el periodo del 10 al 16 de agosto considerando para cada día: Tp ( periodo de pico del oleaje máximo en s), H (hora UTC), Dm (dirección media de procedencia del oleaje en °), Dp (dirección de pico del oleaje en °), Tm (periodo medio del oleaje en s), Tp (periodo de pico del oleaje en s) y Hs (altura significativa del oleaje en m), Hx (altura máxima del oleaje en m)

servar alturas significativas del orden de  $H_s \leq 1$  m. En la situación de estudio, en el día 13 se registró un periodo de pico máximo de unos 17 s y alturas significativas ( $H_s$ ) y máximas ( $H_x$ ) inusuales, de unos 3 m. El día 14 se observaron los periodos de pico más altos del episodio con valores máximos próximos a los 19 s, sin embargo, la altura significativa fue inferior a 2 m. El análisis de este episodio no muestra, al igual que para otros eventos estudiados, correlación entre los periodos más largos y las mayores alturas.

Además, este tipo de oleaje desarrolla fenómenos muy acusados de asomeramiento<sup>1</sup> que conllevan peralte<sup>2</sup> o aumento de la pendiente de las olas importantes en aguas someras. Esta es una característica del mar de fondo de largo recorrido y es más fácil observarla en pulsos procedentes del hemisferio sur. En algunas ocasiones se han observado en Canarias situaciones de mar de fondo generados en el Atlántico Norte aunque dichas situaciones no han sido objeto de nuestro estudio. Como ejemplo, se muestra en la fotografía de la figura 2 el oleaje con procedencia sur impactando en la playa de la Tejita, zona del Médano en el sur de Tenerife el día 13 de agosto.

Otro fenómeno a considerar es el de agrupamiento que, se manifiesta con un número de olas seguidas en las series que se estima por su observación entre 8 y 20. En ocasiones pueden existir hasta unos 20 minutos de calma total para seguidamente aparecer una nueva serie con un número anómalo de olas agrupadas. Esto revela la importancia y significancia de este oleaje que afecta a zonas costeras del sur de Canarias siendo, sin embargo, inofensivo e indetectable en aguas profundas. Además, estas zonas se encuentran al abrigo de los temporales y oleajes más frecuentes procedentes del Atlántico Norte. Sobre todo queremos destacar el elemento sorpresa y de peligrosidad en su ocurrencia. Esto es debido tanto al relativamente largo periodo de tiempo transcurrido entre series (que no hace presagiar el verdadero estado de la mar al usuario), como al elevado número de olas en cada serie. Se subraya la adversidad asociada a dichos eventos significativos, dados los daños principalmente

humanos que acontecen siempre con su ocurrencia.

Para el análisis del evento descrito en este artículo se realizó un estudio comparativo con otras situaciones de mar de fondo del sur afectando a Canarias desde el año 2014. Como resultado se concluyó la similitud en cuanto a parámetros de oleaje e incidencias con la acontecida en agosto de 2014 aunque la potencia de la de agosto de 2023 fue mayor.

### 3.- Comportamiento de los modelos:

En el análisis a partir de modelos numéricos se emplean salidas procedentes del modelo AEWAM (AEMET Wave Model) extraídas de AEWAM CY47R1-4km versión 1.2 de noviembre 2022. Se realiza un estudio comparativo respecto a salidas numéricas del modelo americano NUOPC (National Unified Operational Prediction Capability) ENSEMBLE desarrollado por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y el NWS (National Weather Service)

El modelo AEWAM reprodujo satisfactoriamente y con un periodo de predicción muy satisfactorio la llegada de este mar de fondo a las costas sur de las Islas, como lo muestran tanto las salidas de mar de fondo total como las componentes primaria, secundaria y terciaria. También reproduce correctamente las alturas significativas relativas a dicho oleaje.

La pasada del modelo de oleaje AEWAM del día 9 para el día 11 de agosto

mostraba mar de fondo total de dirección sur con periodos de pico entre 16 y 18 s en general para las costas del sureste de las Islas, a excepción de Lanzarote y Fuerteventura. La pasada del día 11 lo confirma (ver figura 3).

El análisis de salida de flujo de energía refleja la situación y da una idea de la intensidad con la que llega dicho oleaje a las islas incidiendo y causando más impacto entre los días 12 y 14 de agosto, como se esperaba. La figura 4 muestra la predicción para las 9 UTC del día 12 de la pasada del modelo del día 12 de agosto a las 00 UTC por unidad de longitud de cresta del mar combinado con valores de 44-48 kW/m al sur de las islas sobre una latitud de 25° N aumentando a 48-50 kW/m al sur de Tenerife.

Los días 15 y 16 de agosto coinciden con coeficiente de marea alto. Como consecuencia, existió un efecto de amplificación de los efectos, que provocó inundación de avenidas, como la de Arinaga en Gran Canaria, que ya había sufrido pequeñas invasiones por reboso del oleaje desde el día 12, o en carreteras en Tenerife.

Para la predicción de esta situación se considera esencial el estudio comparativo a partir de un informe de antecedentes de los distintos episodios significativos de este tipo de oleaje acontecidos en los últimos nueve años en las islas. Los incidentes resultantes de los mismos han sido correlacionados con los eventos de oleaje que los produjeron y se han clasificado según su adversidad (trabajo de



Figura 2. Oleaje con mar de fondo del sur. La Tejita (sur de Tenerife), 13 de agosto de 2023. Fotografía de Jairo Díaz Dévora.

<sup>1</sup> El asomeramiento (*shoaling* en inglés) es un proceso de amplificación o crecimiento de la altura de las olas que se desencadena cuando se propagan hacia aguas poco profundas. En él disminuye la celeridad de la onda y su longitud, al tiempo que la altura aumenta.

<sup>2</sup> El peralte (*steepness* en inglés) es un parámetro adimensional definido como la relación entre la altura de ola y su longitud de onda ( $H/L$ ) Físicamente proporciona información sobre la estabilidad de la onda.

**Periodo medio (color) y dirección media (vectores) del mar de fondo total**

Elaborado el viernes 11-08-2023 00:00 | Previsto para el viernes 11-08-2023 15:00 (H+15)

Versión: CY46R1 | Límite 20 millas : --- | Áreas de predicción (blanco) | Boyas (costeras ● / aguas profundas ●)

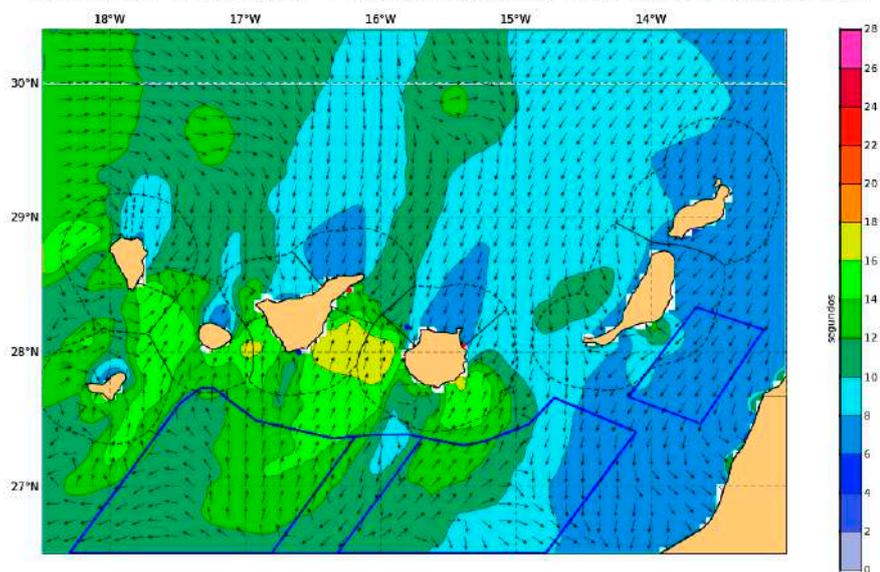


Figura 3. Mar de fondo total, pasada del modelo de oleaje AEWAM del día 11 de agosto de 2023 a las 00 UTC para el mismo día a las 15 UTC.

**Flujo de energía por unidad de longitud de cresta (color) del mar combinado**

Elaborado el sábado 12-08-2023 00:00 | Previsto para el sábado 12-08-2023 09:00 (H+9)

Versión: CY47R1 | Áreas de predicción (blanco)

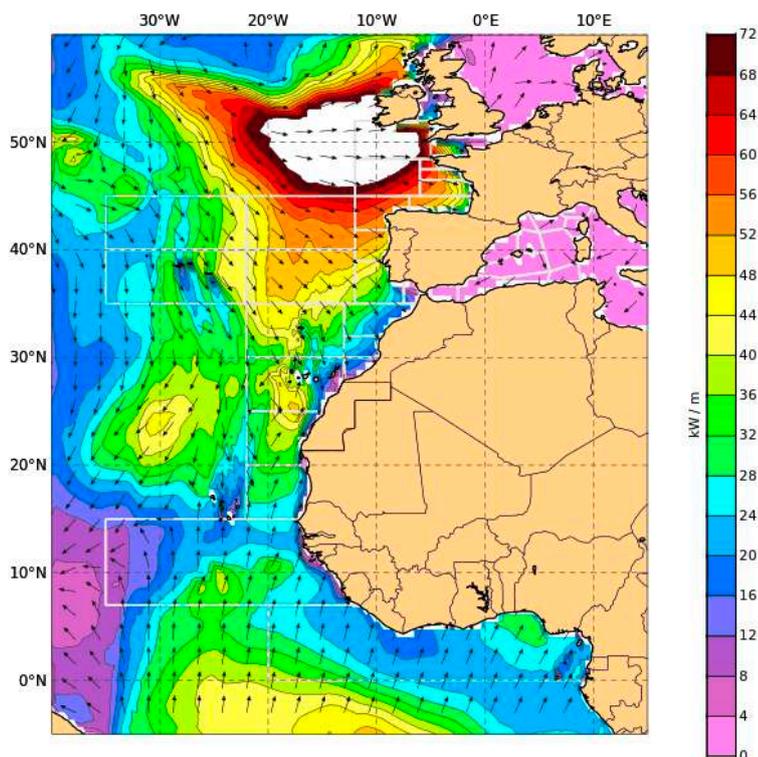


Figura 4. Flujo de energía por unidad de longitud de cresta del mar combinado previsto para las 9 UTC del día 12; pasada del modelo de oleaje AEWAM del día 12 a las 00 UTC

de fuerza y coeficientes de mareas variables. Para ello se emplea un estudio comparativo respecto a otras situaciones, en particular la acontecida en agosto de 2014, que dio lugar a un impacto similar. Por otro lado, para el análisis de la situación se consideran salidas numéricas de otros modelos de oleaje, como el modelo americano.

Desde el día 9 de agosto el modelo de oleaje ECWAM detecta la dirección sur, los periodos de pico y la energía asociados a la situación. Se concluye que está asociado a mayor potencia y, por tanto, a mayor adversidad que la contribución del originado por mar de viento de dirección norte.

El seguimiento de las borrascas precursoras de dicho oleaje, generadas en el hemisferio sur, entre 50° - 60° S permite una alerta temprana de estos eventos significativos.

Se propone analizar las reactivaciones de este tipo de oleaje en aguas someras, en función de la batimetría, y delimitando su dirección de incidencia, a partir de salidas de modelos numéricos que incorporen su potencia y resalten aquellas áreas afectadas por periodos de pico largos (entre 16 y 22 s). De este modo, se incorporarían mejoras en la detección de los fenómenos costeros adversos relacionados con mar de fondo procedente del Atlántico Sur que afectan a las Islas, estimando el grado de intensidad o energía con que incide y, por tanto, la medida de su adversidad, incorporando un umbral de alerta específico en su predicción. También sería de interés realizar un estudio más profundo tomando como referencia el espectro frecuencial del oleaje asociado al registro de boyas en el entorno de Canarias durante cierto intervalo de tiempo. Como limitación habría que tener en cuenta la escasez de boyas direccionales incorporadas a la red de observación del área de estudio.

**Agradecimientos**

A David Quintero Plaza (Aemet) por su aportación en cuestiones de análisis y estudio de situaciones, a Ernesto Barrera Rodríguez (Aemet), Francisco J. Bello Millán (Aemet) y Germán A. Rodríguez Rodríguez (ULPGC, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria) en relación a conceptos y a Orlando Javier Pazos Machín (Aemet) por las suyas de edición y corrección.

colaboración entre ITC y Aemet).

**Conclusiones**

Se analiza y predice con un grado de acierto satisfactorio una situación ad-

versa de oleaje que afecta a costas sureñas de las islas Canarias provocadas por mar de fondo procedente del Atlántico Sur con diferentes máximos de potencia, duración de varios días, distintos picos