

# TRAZAS DE LA TEMPERIE

SECCIÓN COORDINADA POR MANUEL LARA JAÉN  
mlaraj@aemet.es

*Dos situaciones muy diferentes se comentan en este número de Trazas. J.A. Núñez (AEMET) nos habla de variaciones bruscas en el nivel del mar causadas por ondas gravitatorias mientras que J.A. Adame y M. Yela (ambos del INTA) nos informan de las condiciones meteorológicas durante el incendio ocurrido en Doñana este verano.*

## Ascensos bruscos del nivel del mar en playas del litoral mediterráneo

JOSÉ ÁNGEL NÚÑEZ MORA - AEMET EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

### Ascensos del nivel del mar en playas de Alicante

Los ascensos y descensos bruscos de la altura del nivel del mar son bien conocidos en varios puertos y bahías del Mediterráneo. Rissagas en Menorca, Marrùbbio en Sicilia, Šciga en la costa Adriática, etc. son fenómenos cuyo origen está en ondas gravitatorias atmosféricas y que a veces reciben el nombre de *meteotsunamis* ya que presentan características similares a tsunamis generados por movimientos sísmicos.

El día 23 de julio de 2017 se produjo una rissaga en Menorca que tuvo oscilaciones máximas de 117 cm. Ese mismo día, por la mañana, se notificaron variaciones del nivel del mar en el puerto de El Campello, en la provincia de Alicante y también se produjeron avances del mar en playas, como Santa Pola, Playa del Pinet, y varias playas de Torre Vieja, en una situación meteorológica con viento flojo y sin oleaje y, por tanto, sin que se produjese el típico rompimiento de olas generadas por el viento. Estos fenómenos fueron notificados a través del sistema SINOBAS como fenómenos marítimos raros.

No es la primera vez que se tienen noticias de estos fenómenos en playas de las provincias de Alicante y Valencia, de hecho, seguro que son fenómenos relativamente frecuentes, pero al no presentar la adversidad que sí que se da en puertos como el de Menorca, muchos de ellos pasan desapercibidos, y sólo en los meses de julio y agosto, cuando las playas están llenas de turistas, es cuando es más frecuente que estos fenómenos se den a conocer a través de los medios de comunicación o de las redes sociales.

### Ondas gravitatorias atmosféricas

El mecanismo inicial que produce estos avances del mar en las playas es el mismo que el que da lugar a las rissagas, aunque luego, la resonancia interna que amplifica la ola que llega al puerto o bahía no se produce en las playas, donde sólo actúan mecanismos de resonancia externa.

El primer elemento presente para que se generen estos avances del mar en playas, al igual que en puertos y bahías, es la generación de ondas gravitatorias atmosféricas que producen movimientos verticales que hacen variar la presión atmosférica al nivel del mar.

Las bruscas variaciones de presión atmosférica se observaron muy nítidamente en el registro de presión del Aeropuerto de Alicante/Elche, sobre todo entre las 10 y las 11 de la mañana, cuando se produjeron las variaciones del nivel del mar notificadas en el sistema SINOBAS. A esa hora se identifican oscilaciones de pre-

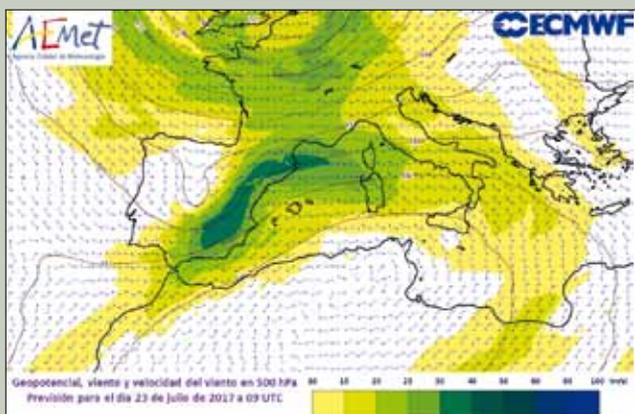
sión con un periodo aproximado de 10 minutos: máximo relativo de 1012.9 hPa a las 10:12 horas; mínimo relativo de 1011.9 hPa a las 10:17 horas; máximo relativo de 1012.1 hPa a las 10:20 horas; mínimo absoluto de 1011.6 hPa a las 10:25 horas y máximo absoluto de 1013.2 hPa a las 10:32 horas.

Estas oscilaciones de presión detectadas en el Aeropuerto de Alicante/Elche también fueron registradas en otros observatorios de la provincia de Alicante y de la Región de Murcia. Así, el mínimo absoluto de presión durante el episodio en el observatorio de San Javier se registró a las 09:50; en el Aeropuerto de Alicante, a 60 km en línea recta de San Javier, el mínimo se detectó a las 10:25, y en la estación automática de Xàbia, a 90 km en línea recta del Aeropuerto de Alicante/Elche, el mínimo absoluto se detectó a las 11:30; es decir, la perturbación atmosférica que provocó la máxima oscilación de presión en los observatorios antes citados se desplazaba con una velocidad media de 90 km/h en dirección sudoeste a nornordeste. La dirección de desplazamiento de la perturbación atmosférica tiene su trascendencia, ya que el puerto de El Campello y las playas en las cuales se notificaron las variaciones del nivel del mar, están orientadas al sur y, por tanto, para el caso de las playas, con una orientación oeste-este, su orientación es aproximadamente perpendicular a la dirección de desplazamiento de la onda.



**Figura 1:** presión atmosférica cada 15'' registrada en el aeropuerto de Alicante/Elche. Se observan oscilaciones de presión de casi 2 hPa entre las 9 y las 11 de la mañana, sincrónicas con las oscilaciones del nivel de mar que se produjeron en el litoral de la provincia de Alicante

Las condiciones meteorológicas necesarias para que se generen estas ondas gravitatorias son las que se observaron el 23 de julio, a saber: vientos fuertes del suroeste en niveles medios y al-

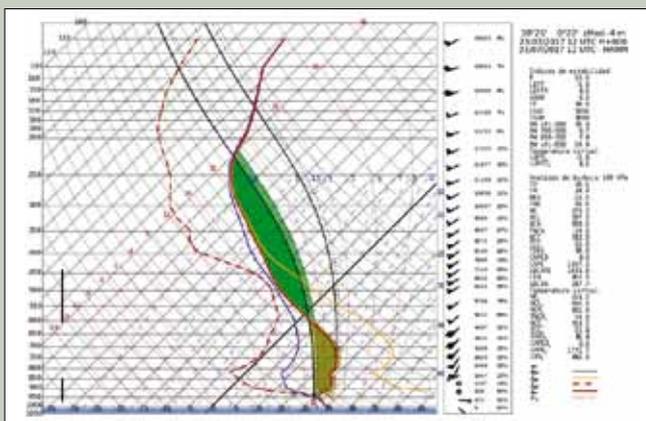


**Figura 2: altura geopotencial, dirección y velocidad del viento en la superficie isobárica de 500 hPa previsto para el día 23 de julio de 2017 a las 09 UTC.**

tos por delante de una vaguada y cizalladura del viento, con máximos de viento en la troposfera media sobre el este de la Península.

En niveles bajos se observaba una inversión térmica, pero que no llegaba a superficie, sino que se situaba aproximadamente a partir de 925 hPa, lo que es coherente con la situación sinóptica, ya que por el flanco oriental de la vaguada se estaba canalizando una masa de aire cálido y muy seco, que contrastaba con un mar relativamente frío. En superficie, el flujo era débil del este.

En la capa de inversión térmica, entre 925 hPa y 600 hPa, la humedad era muy baja, lo que daba al sondeo la típica forma de “cebolla” asociada a estas situaciones meteorológicas. Por encima de la inversión térmica había una capa inestable, a partir de unos 5000 metros de altitud.



**Figura 3: sondeo previsto por el modelo HARMONIE-AROME para el 23 de julio de 2017 en un punto de rejilla próximo al puerto de El Campello que muestra el perfil termodinámico típico de la generación de ondas gravitatorias.**

## Ondas marítimas inducidas por las ondas gravitatorias atmosféricas y fenómenos de resonancia

Estas ondas gravitatorias atmosféricas que generan variaciones de la presión atmosférica en superficie, a su vez generan variaciones en el nivel del mar, ya que, en definitiva, un cambio de presión atmosférica implica un cambio en el peso del aire que hay sobre el mar, y un aumento de presión (disminución), implica una disminución (aumento) del nivel del mar; es lo que se conoce como efecto de barómetro invertido.

Sin embargo, mediante un cálculo aproximado podemos estimar que una variación de la presión atmosférica en aguas abiertas de 2 hPa (como la registrada el día 23 de julio), equivaldría a 2 cm de variación del nivel del mar, luego deben de encadenarse otros fenómenos que expliquen las variaciones del nivel del mar

tan importantes que se observaron ese día, que según se notificó en SINOBAS, llegaron hasta los 40 cm.

Para el caso del puerto de Ciutadella, hay suficiente bibliografía que explica que la rissaga es un fenómeno resonante entre la oscilación normal del puerto y la onda gravitatoria atmosférica: es necesario que las ondas gravitatorias tengan una frecuencia similar a la oscilación normal del puerto y ambas ondas entren en resonancia. Esa sería la fase final de transferencia de energía de la atmósfera al mar, la fase de resonancia interna dentro del propio puerto (*Harbour resonance*), pero antes de esa resonancia interna, fuera del puerto, en mar abierto, se pueden (y se tienen) que dar otros fenómenos resonantes que amplifiquen la onda en el mar, para que ésta sea relevante al llegar a la costa. En la bibliografía internacional se citan fundamentalmente 3 tipos de resonancias externas (fuera de puertos y bahías), que se conocen como resonancia de Proudman, resonancia de Greenspan y resonancia de plataforma (*Shelf resonance*).

En nuestro caso, lo más probable es que la primera transferencia de energía externa de la atmósfera hacia el mar se produjese por resonancia de Proudman. Esta resonancia se produce cuando la velocidad de traslación de la onda atmosférica es aproximadamente igual a la de la onda larga del mar, cuya velocidad de traslación en aguas poco profundas responde a la siguiente ecuación:

$$c = \sqrt{gH}$$

en donde  $c$  es la velocidad de la onda oceánica (marítima en nuestro caso),  $g$  es la aceleración de la gravedad, y  $H$  es la profundidad, con lo que, para aguas poco profundas, la velocidad de desplazamiento de la onda marítima sólo depende de la profundidad de la columna de agua. En el supuesto de que se hubiese producido el día 23 de julio una resonancia de Proudman, la velocidad de la onda marítima y atmosférica debieron ser muy similares, y estar próximas ambas a 90 km/h, que es la velocidad a la que se trasladaba la onda atmosférica, por lo que sería factible que se hubiese producido esa amplificación de Proudman en zonas marítimas de profundidad próxima a 70 m, que por otra parte son zonas próximas a la costa y con orientación sur-norte. Por tanto, durante la resonancia de la onda atmosférica y marítima, esta última se va amplificando a medida que va avanzando hacia el norte, y para el caso de algunas playas y puertos de la provincia de Alicante, la onda se va amplificando a medida que se acerca a la orilla.

Para el caso del puerto de El Campello, sí que pudo existir algún fenómeno de resonancia interna entre la onda marítima amplificada y el periodo de resonancia propio del puerto, pero para el caso de las playas, habría que tener en cuenta una segunda amplificación por resonancia externa al acercarse la ola a la plataforma (*Shelf resonance*).

El fundamento básico de esta resonancia externa de plataforma consiste en que, cuando el meteotsunami alcanza la costa, disminuye su velocidad debido al rozamiento con el fondo y, a medida que se comprime, aumenta la altura de la ola.

La misma ola que apenas mide unos centímetros en aguas abiertas, debido a la resonancia de Proudman y a la resonancia

de plataforma, al llegar a las playas puede alcanzar varios decímetros, aunque no se produce el típico rompimiento de la ola, ya que la longitud de onda del *meteotsunami* es muy amplia y por tanto la pendiente (definida como el cociente entre la altura de la ola y la longitud de onda), es muy pequeña y el fenómeno consiste en un avance súbito del mar tierra adentro, que será más o menos importante dependiendo de la forma y pendiente de la playa.

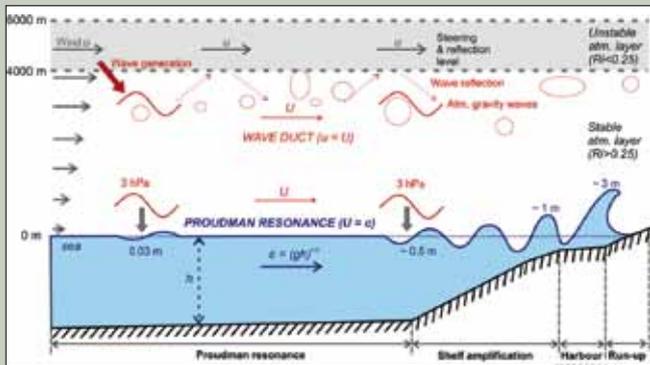


Figura 4: esquema conceptual de formación de ondas gravitatorias y los diferentes fenómenos resonantes y ampliificaciones que se producen al llegar la onda a playas (plataforma continental) y puertos y bahías. Fuente: Šepić, J. et al. Widespread tsunami-like waves of 23-27 June in the Mediterranean and Black Seas generated by high-altitude atmospheric forcing. *Sci. Rep.* 5, 11682; doi:10.1038/srep11682 (2015).

La figura anterior explica de forma esquemática el fenómeno de formación de ondas gravitatorias y los fenómenos de amplificación y resonancia que se producen en el mar y que dan lugar a variaciones de nivel notablemente más altos de los que se generan en aguas abiertas, al llegar la onda a la plataforma continental y a los puertos.

### Bibliografía

Bailey, K., DiVeglio, C., & Welty, A. (2014). *An Examination of the June 2013 East Coast meteotsunami captures by NOAA observing systems*. NOAA. Obtenido de [https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/NOS\\_COOPS\\_079.pdf](https://tidesandcurrents.noaa.gov/publications/NOS_COOPS_079.pdf)

Jansá Clar, A. (2014). Rissagues: el caso de 19 de agosto de 2014. (A. M. Española, Ed.) *Tiempo y Clima*, 43-48.

Montserrat, S., Vilibic, I., & Rabinovich, A. (2006). Meteotsunamis: atmospherically induced destructive ocean waves in the tsunami frequency band. *Natural Hazards and Earth System Science*, 1035-1051.

Šepić, J., Vilibic, I., Rabinovich, A. B., & Monserrat, S. (2015). Widespread tsunami-like waves of 23-27 June in the Mediterranean and Black Seas generated by high-altitude atmospheric forcing. *Nature*.

# Condiciones meteorológicas anómalas en las que se produjo el incendio de Doñana en junio de 2017

JOSÉ ANTONIO ADAME Y MARGARITA YELA

El sábado 24 de junio de 2017 alrededor de las 21:00 LT (local time), se declaró un incendio forestal en el paraje conocido como Las Peñuelas, en Moguer (Huelva). Este incendio se propagó rápidamente gracias a las extremas condiciones meteorológicas existentes, alcanzando la zona de preparque y parque nacional de Doñana. Después de afectar a una superficie de 8.486 hectáreas de arbolado y matorral fue extinguido el martes 26 de junio.

Los días previos al incendio, a escala sinóptica la situación se caracterizó por un anticiclón atlántico que se extendía desde las Azores hasta Francia, cubriendo la península ibérica y una zona de bajas presiones en la parte occidental del norte de África. En la Península se registró un escaso gradiente isobárico, favoreciendo en las costas el desarrollo de procesos de mesoescala. Concretamente en la zona del golfo de Cádiz se desarrolló brisa costera, como se puede observar en la evolución del viento registrada en El Arenosillo (Fig. 1). El día antes del incendio, 24 de junio, la baja africana se hace más profunda y el anticiclón atlántico se aleja de la parte occidental de la Península, produciéndose una disminución de la presión en superficie desde el golfo de Cádiz

y a lo largo de la costa occidental del norte de África, acompañada de un incremento del gradiente isobárico.

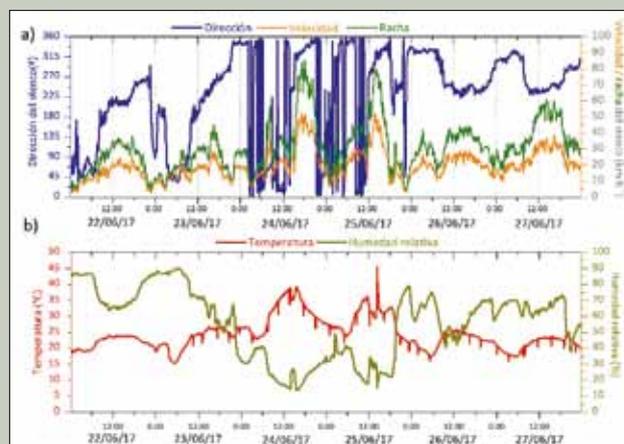


Figura 1. Evolución de la dirección, velocidad y rachas del viento (a); temperatura y humedad relativa (b) registradas en el observatorio de El Arenosillo (INTA - Huelva)

<sup>1</sup>, Estación de Sondeos Atmosféricos - El Arenosillo. Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Mazagón - Huelva. Correspondencia: adamec@inta.es (J.A. Adame)

Esta nueva situación no favorecía el desarrollo de los procesos de mesoescala e hizo que la dinámica superficial en el SO de la Península estuviera gobernada por los flujos sinópticos del norte, con vientos intensos soplando desde el NO. En las primeras horas del sábado 24 de junio comenzaron registrarse en la zona costera de Huelva, rachas de viento que se fueron intensificando a lo largo del día, llegándose a registrar rachas de 85 km h<sup>-1</sup>, flujos que vinieron acompañados de un incremento de la temperatura y una bajada de la humedad relativa. El día 24 se registró en El Arenosillo una máxima de 39 °C y un mínimo de humedad de 15 %. Estas condiciones atmosféricas, continuaron en la zona de Huelva durante la noche del 24 y el domingo 25 de junio, registrándose este día una máxima de 36 °C, mínima de humedad de 18 % y rachas de viento de 80 km h<sup>-1</sup>.

Se pudiera indicar, por tanto, que el incendio comenzó bajo unas condiciones atmosféricas muy favorables a su formación,

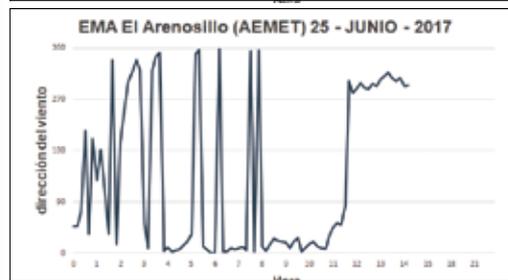
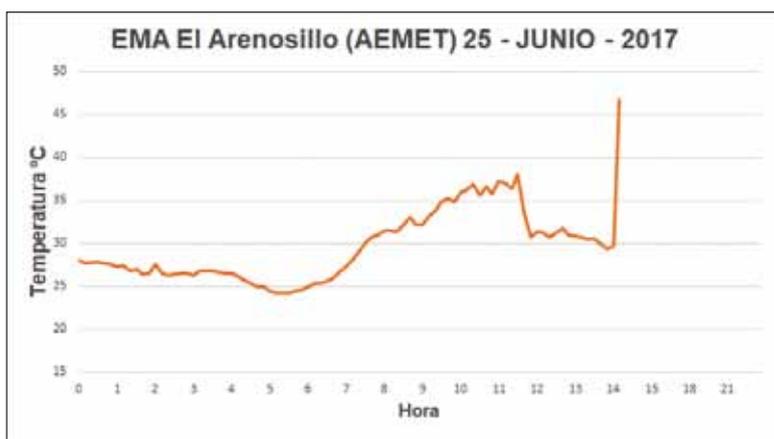
viento con fuertes rachas, elevadas temperaturas y baja humedad. El domingo 25 a las 16:00 LT, el incendio alcanzó El Arenosillo, registrándose en el observatorio del INTA valores de temperatura de 45 °C y humedad de 15 %, registros medios de 10 minutos (52 °C y 10 % si se consideran los valores minutales), con velocidad del viento de 45 km h<sup>-1</sup> y rachas de 80 km h<sup>-1</sup> (Fig. 1).

El lunes 26 de junio, el anticiclón perdió intensidad y dejó a la Península de nuevo bajo un débil gradiente isobárico, favoreciendo el desarrollo de brisas en las zonas de costa, como se registró en El Arenosillo. La velocidad del viento y temperatura disminuyeron y la humedad se incrementó, volviendo a registrarse unas condiciones de superficie típicas de esa época del año.

El excepcional escenario meteorológico que se produjo durante esos días en la zona favoreció la rápida propagación del incendio pudiendo explicar el devastador impacto que tuvo en el área afectada.

## LA ESTACIÓN DE AEMET EN EL ARENOSILLO

FUENTE DE LA INFORMACIÓN AEMET



Gráficas de la EMA de AEMET en El Arenosillo; afectada por el incendio, dejó de funcionar poco antes de las 14 UTC.

A las 12 UTC la entrada de la brisa de mar de componente oeste, denominada en buena parte de la costa de Huelva como "foreño", interrumpe el viento del norte al debilitarse el anticiclón de las Azores en el oeste de la Península por el calentamiento diurno. Con la entrada de la brisa se produce una disminución brusca de la temperatura, pero a las 14 UTC sube repentinamente hasta 46.8 °C a causa del incendio que avanzaba hacia el oeste (ver abajo imagen del Meteosat canal 3.9 μ). El viento medio del oeste no alcanzó mucha intensidad, pues quizá las circulaciones propias del incendio al oeste de la EMA contrarrestarían la brisa en El Arenosillo. Con la presencia inmediata del incendio las rachas superaron los 70 km/h mientras el viento medio era solo de 18 km/h, justo antes de que la estación dejara de medir.

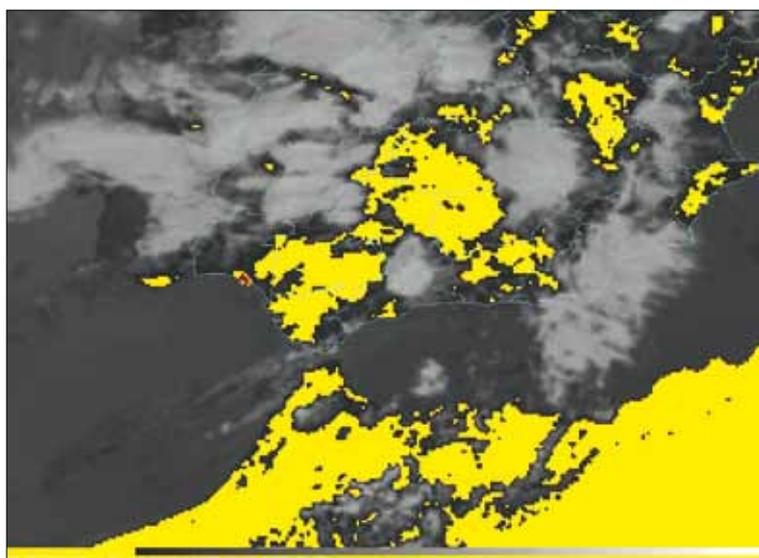


Imagen del Meteosat canal 3.9 μ de 14 UTC; se observa en color rojizo la señal del incendio.

Estación meteorológica de AEMET en El Arenosillo; foto de Luis Carlos Lobo Santana.

