

LAS MAREAS ATMOSFÉRICAS EN LA COSTA NORTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Domingo RASILLA; Juan Carlos GARCÍA CODRON y Antonio HERNÁNDEZ

GIMENA (Grupo de Investigación del Medio Natural)

Departamento de Geografía, Urbanismo y Ordenación del Territorio; Universidad de Cantabria

RESUMEN

El objetivo de la presente comunicación es la identificación de las condiciones responsables de mareas atmosféricas en la costa septentrional de la Península Ibérica, y su influencia en la evolución reciente del nivel del mar. Las mareas positivas, están causadas por perturbaciones atlánticas, acompañadas de vientos del 2º y 3º cuadrantes. Las negativas, consecuencia de situaciones estables, dirigen vientos del 1º y 2º cuadrante sobre la región. En su génesis la presión desempeña un papel fundamental, aunque el viento contribuye a la diversificación regional; de ahí una mayor variabilidad en Galicia, donde ambos parámetros actúan en el mismo sentido. Durante el periodo temporal analizado la intensidad de las perturbaciones causantes de las mareas positivas ha disminuido, amortiguando los efectos del ascenso generalizado del nivel del mar.

Palabras clave: Marea atmosférica, costa norte de la Península Ibérica, clasificación sinóptica.

ABSTRACT

The atmospheric conditions conducive to storm surges in the northern coast of the Iberian Peninsula are identified by a synoptic classification approach. While positive surges, more frequent in fall and early winter, are linked to storms tracking west to east from Central Atlantic to Europe, accompanied by strong westerly, southwesterly and northwesterly winds, stable circulations, due to the displacement of the Azores High to the Iberian Peninsula, driving Northeasterly and Easterly winds, are the genesis of the negative surges, a common summertime phenomenon. Our analysis highlights that winds are a less important factor than air pressure, although they are responsible of regional differences between Galicia, where the variability of surge heights is larger, and Cantabria. Besides, during the 40-year period under analysis, the intensity of the storms have been decreasing, balancing the effects of the global sea level rise.

Key words: Storm surges, northern coast of Spain, synoptic classification.

1. INTRODUCCIÓN

La superficie marina actúa como un barómetro, ascendiendo como promedio 1,3 cm cuando la presión desciende 1 mb, y viceversa (McMILLAN, 1966; FRENCH, 1997); por su parte, el viento eleva el nivel del mar cuando sopla perpendicular a la costa. La magnitud de estos movimientos verticales depende además de factores adicionales, como la configuración de la costa, las dimensiones de la plataforma continental, etc.

En los últimos años se está detectando una profusión de episodios de inundación de ámbitos costeros (PIRAZZOLI y TOMASIN, 2002; RAICICH, 2003) que están acarreado importantes trastornos a las comunidades costeras (salinización de acuíferos, destrucción de infraestructuras...), que los convertirán a corto y medio plazo en un serio inconveniente para su desarrollo económico

y social. Estos episodios parecen confirmar las predicciones de los modelos climáticos; la elevación global del nivel del mar vinculada al calentamiento global (fusión de los casquetes continentales, expansión térmica), en conjunción con modificaciones regionales en la dinámica atmosférica (cambios en la frecuencia e intensidad de las perturbaciones) podría agravar estas consecuencias a largo plazo (BIJL, 1997; BELL *et al.*, 2000; FLATHER y SMITH, 1998).

El presente artículo analiza las variaciones del nivel del mar causadas por factores atmosféricos en el N de la Península Ibérica (*surcotes* y *décotes* en francés, *surges* o *non-tidal residual* en inglés; a falta de otra denominación, en castellano se conoce como “marea atmosférica”), región en la que también comienzan a apreciarse algunas evidencias de una mayor exposición a la erosión costera (Fig. 1).



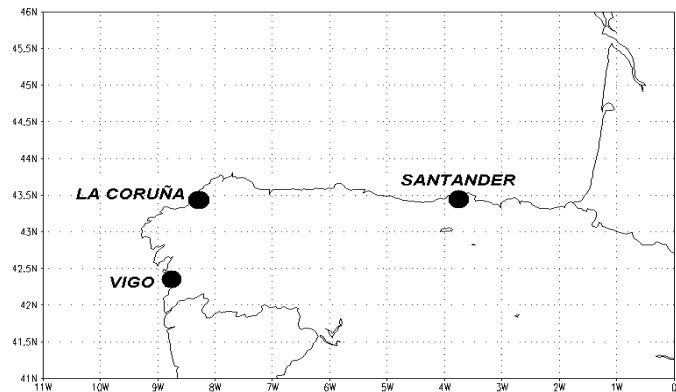
Fig. 1. Monumento al Pájaro Azul (playa de Oyambre, Cantabria).

Desde su construcción, en la década de los años veinte, el acantilado ha retrocedido más de 5 m

2. FUENTES Y MÉTODOS

Las mareas meteorológicas se definen como variaciones de altura (positivas o negativas) entre la marea prevista (calculada) y la observada (registrada por el mareógrafo). Esta última (altura media diaria) proviene de los registros de las estaciones de Vigo, La Coruña y Santander (Fig. 2), gestionadas por el Instituto Español de Oceanografía, pertenecientes al periodo 1958-2000. La marea astronómica ha sido proporcionada por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Marina francesa (SHOM; <http://www.shom.fr>). La primera fase del trabajo consistió en la comparación de ambas series de datos, previo relleno de las lagunas existentes en los datos observados (cálculo de la diferencia entre dos días consecutivos y aplicación de una regresión lineal sobre estas diferencias), eliminación de datos dudosos y de la tendencia a largo plazo (cifrada en unos 2,4 mm/año para todo el sector; TEL *et al*, 2001). El desfase entre ambas series (entre 20 y 30 cm) se resolvió aplicando un factor de corrección (diferencia media suavizada entre ambas series). Este procedimiento además permite obviar posibles inhomogeneidades en los valores originales.

Fig. 2. Localización de los mareógrafos gestionados por el IEO en la costa septentrional de la Península Ibérica



La circulación atmosférica ha sido analizada a partir de una clasificación diaria de tipos de circulación, que utiliza valores de presión atmosférica en una serie de puntos de rejilla, transformados en índices cuantitativos a partir de los que se define cada una de las configuraciones (FERNÁNDEZ *et al.*, 2002). La presión atmosférica procede de la base de datos REANALYSIS (<http://www.cru.uea.ac.uk>), completándose con los valores de la componente zonal y meridiana del viento en superficie (componentes *u* y *v*).

3. RESULTADOS

3.1. Rasgos generales de la circulación atmosférica en el ámbito de estudio y su relación con la variabilidad del nivel del mar

El sector N de la Península Ibérica disfruta de un clima oceánico, gracias a su exposición a los flujos atlánticos. No obstante, su ubicación meridional también la sitúa frecuentemente bajo el radio de acción del Anticiclón de las Azores y sus apófisis sobre el Atlántico Oriental. De ahí que la presión atmosférica (Fig. 3) muestre una evolución singular. El máximo de invierno encubre la alternancia de periodos sometidos a una activa circulación perturbada y otros mucho más estables, como consecuencia de la persistencia de situaciones de bloqueo frente a las costas occidentales de la Península Ibérica. El mínimo de primavera corresponde más a una elevada frecuencia de sistemas perturbados que a situaciones barométricas profundas, mientras que los valores estivales ligeramente por debajo de la media y su escasa variabilidad son el resultado del predominio de circulaciones anticiclónicas, vinculadas al ascenso latitudinal del Anticiclón de las Azores, y de la formación sobre la Meseta de un área de bajas presiones relativa asociada al calentamiento de las capas bajas de la atmósfera sobre la Meseta.

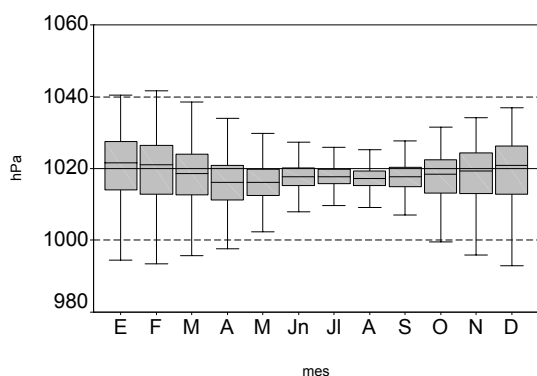


Fig. 3. Presión atmosférica en el norte de la Península Ibérica
(Fuente: elaboración propia a partir de datos del REANALYSIS)

El régimen de vientos (Fig. 4) muestra una evidente estacionalidad. En invierno destaca la gran intensidad de los vientos del 3^{er} y 4^o cuadrantes, asociados a la activa circulación perturbada mencionada en líneas anteriores; en verano rolan al 4^o y 1^{er} cuadrantes, disminuyendo de fuerza, a causa de la ausencia de gradientes de presión importantes y del predominio de los factores locales en la génesis de los movimientos del aire (FERNÁNDEZ y RASILLA, 1993).

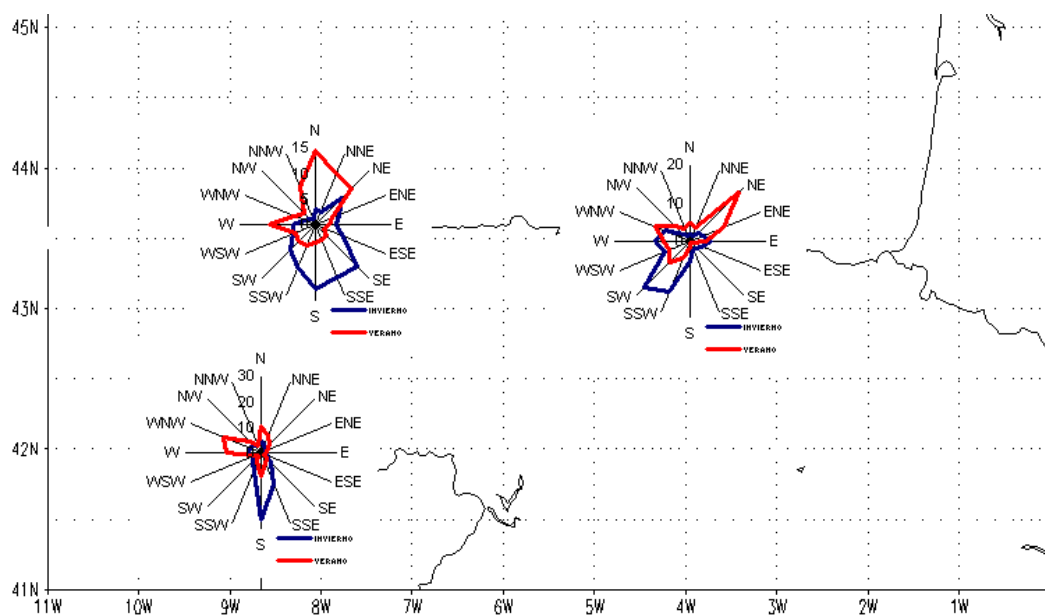


Fig. 4. Vientos dominantes (invierno y verano) en el norte de la Península Ibérica
(Fuente: elaboración propia a partir de datos de la colección Integrated Surface Hourly Observations -NOAA-)

El nivel medio del mar (Fig. 5) experimenta una clara oscilación intraanual, con mínimos estivales (julio) y máximos en otoño e invierno, con diferencias del orden de los 15 cm. Este ciclo proviene en gran medida de la conjunción de los ciclos máximos anuales y semianuales (S_a y S_{sa} ; TEL *et al.*, 2002), a los que hay que añadir la expansión térmica de las capas superficiales vinculada a la génesis y destrucción de la capa termoclina. Las discrepancias surgidas de la comparación de los

gráficos 3, 4 y 5 justifican la necesidad de eliminar las fluctuaciones de naturaleza astronómica para resaltar los factores atmosféricos a la hora de resaltar el forzamiento asociado a estos últimos.

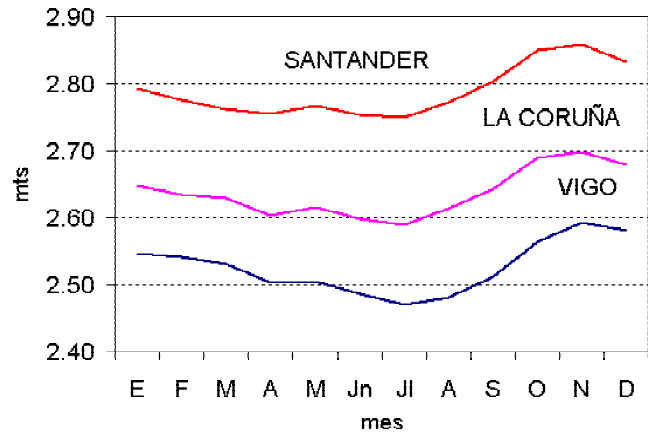


Fig. 5. Niveles medios mensuales del nivel del mar en el norte de la Península Ibérica (Fuente: elaboración propia a partir de datos suministrados por el IEO)

3.2. Anomalías del nivel del mar y tipos de circulación

Los resultados de la figura 6 confirman la utilidad de las tipologías sinópticas para dilucidar el impacto de la circulación atmosférica sobre las mareas. Merece la pena resaltar que las variaciones de la presión atmosférica son más relevantes que las del viento; a causa de sus dimensiones espaciales, se aprecia una respuesta común de todos los observatorios ante un mismo individuo isobárico, con anomalías de igual signo (salvo en el caso de las circulaciones del SE), aunque diferente magnitud. El viento, no obstante, matiza el comportamiento regional (Fig. 7), explicando estas diferencias de magnitud. Cabe destacar, igualmente, que la amplitud de las oscilaciones relativas del nivel del mar es claramente superior en Galicia, particularmente en el caso de las positivas, al reforzar la dirección del viento el efecto barométrico, mientras que en Cantabria ambos factores se contrarrestan.

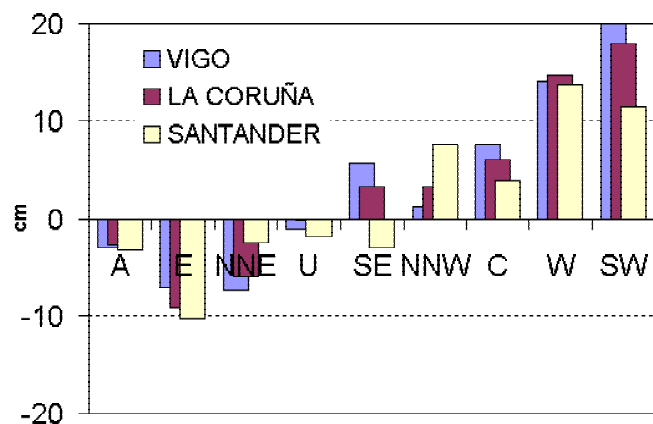


Fig. 6. Valor medio de la marea atmosférica (en cm) según tipos de circulación

Las circulaciones del W y SW son las que inducen las anomalías positivas más destacadas, como consecuencia de la proximidad y profundidad de las perturbaciones que circulan al NW de Galicia o sobre el Cantábrico/Islas Británicas, dirigiendo sobre la Península Ibérica vientos fuertes del 3^{er} cuadrante. Estas anomalías son amortiguadas en Cantabria por el viento, que aleja las aguas de la costa. Las situaciones del NNW también elevan el nivel del mar, aunque con menor relevancia, puesto que, aunque los vientos del 4^o cuadrante empujan las aguas contra la costa, la presión es más elevada. Un caso similar es el de las situaciones ciclónicas, ya que las bajas presiones no son demasiado profundas, y se combinan con vientos flojos y variables.

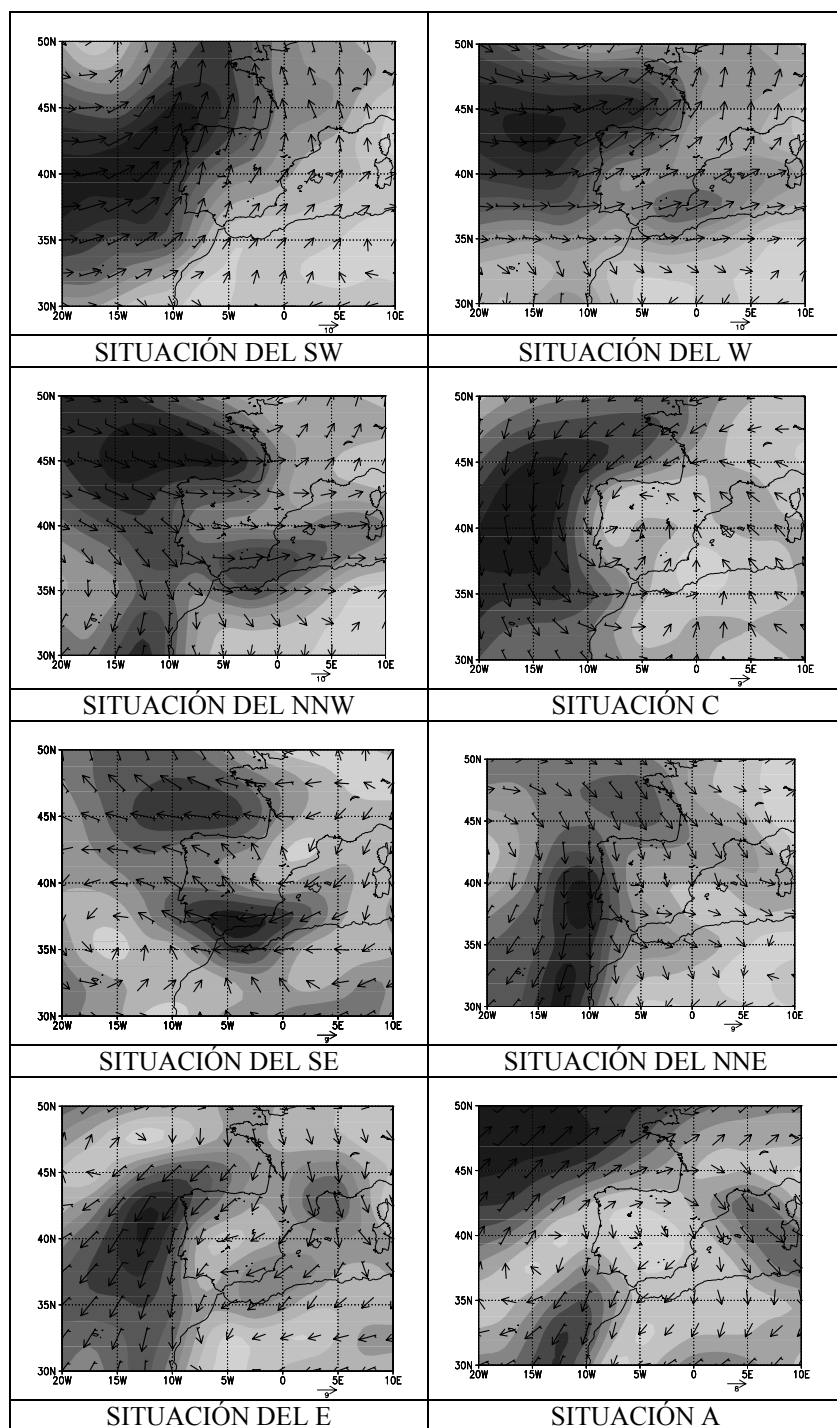


Fig. 7. Dirección y velocidad del viento en cada tipo sinóptico

Los episodios en los que el nivel relativo del mar se sitúa por debajo de lo calculado corresponden a tipos de circulación con un marcado carácter estable, acompañadas de vientos flojos. Por ejemplo, el efecto barométrico de las situaciones del E y NNE es acentuado por la divergencia del viento con respecto a la línea costera (responsable en Galicia de un conocido efecto de “upwelling” que ocasionalmente se extiende al Cantábrico; RASILLA y FERNÁNDEZ GARCÍA, 1998). Las circulaciones del SE corresponden a alturas inferiores a las calculadas en Santander (valores altos de presión, vientos del 3^{er} cuadrante), al contrario que en Galicia, donde producen mayores alturas que las pronosticadas. Los tipos indeterminados (U), que generalmente coinciden con situaciones de “pantano barométrico”, no presentan una correspondencia clara con las oscilaciones del nivel del mar.

A partir de estos rasgos generales, la distribución mensual de las anomalías relativas del nivel medio del mar en la costa septentrional de la Península Ibérica puede ser explicada en gran medida a partir de la frecuencia de tipos de circulación (Fig. 8). De hecho, los meses con anomalías negativas coinciden con los periodos de mayor frecuencia de situaciones estables, si bien no se aprecia una correspondencia tan estrecha entre anomalías positivas y la frecuencia de tipos inestables.

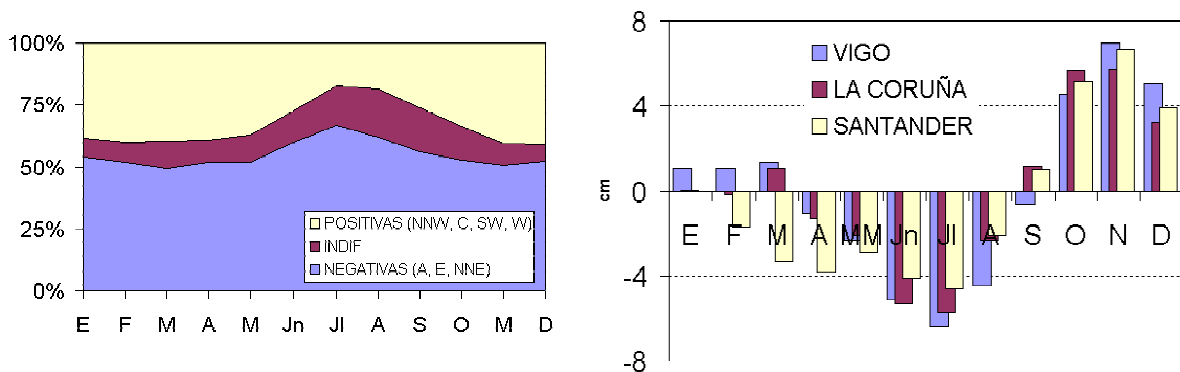


Fig. 8. Estacionalidad de los tipos de circulación y promedio mensual de las anomalías del nivel del mar

Para la plena comprensión de esta singularidad ha de señalarse, en primer lugar, que los grandes temporales atlánticos alcanzan en otoño y comienzo del invierno su máxima frecuencia (RASILLA *et al.*, 2003), generados por mínimos barométricos muy profundos y vientos muy fuertes del 3^{er} y 4^o cuadrantes. A ese factor se uniría una mayor persistencia de los tipos de circulación, capaz de generar un mar de fondo y corrientes de marea muy intensas, acentuando el ascenso del nivel del mar. Finalmente, cabría hablar del propio efecto de elevación del nivel del mar asociado a la destrucción de la estratificación vertical de la masa oceánica (termoclina), que comienza a debilitarse en otoño como consecuencia de la reactivación de la actividad sinóptica tras su relativa interrupción estival. La formación y desaparición de la termoclina ocasiona cambios en la densidad del mar, de tal manera que los niveles más altos del mar suelen coincidir con el periodo de su destrucción, entre octubre y diciembre, mientras los más bajos aparecen en primavera y verano.

3.3. Tendencias en la evolución de las anomalías relativas del nivel del mar en conexión con los cambios recientes en la dinámica atmosférica regional

Las anomalías relativas del nivel del mar poseen una tendencia decreciente en todo el ámbito estudiado, ligeramente superior en Cantabria, aunque en ningún caso significativa (Fig. 9a); este hecho está en consonancia con la tendencia creciente, muy significativa, de la presión atmosférica (PIRAZZOLI, 2000). La ausencia de tendencia en el primer parámetro puede deberse al efecto compensador de la componente meridiana del viento, cuyo incremento implica una mayor frecuencia de vientos del 3^{er} cuadrante (Fig. 9b). Esta explicación, válida para Galicia, debería acentuar aún más la tendencia decreciente de las anomalías relativas del nivel del mar en Cantabria; probablemente esto es así, pero la localización del mareógrafo de Santander determina un apilamiento del mar contra el sector N de la bahía de Santander durante las “suradas”, distorsionando localmente el comportamiento general.

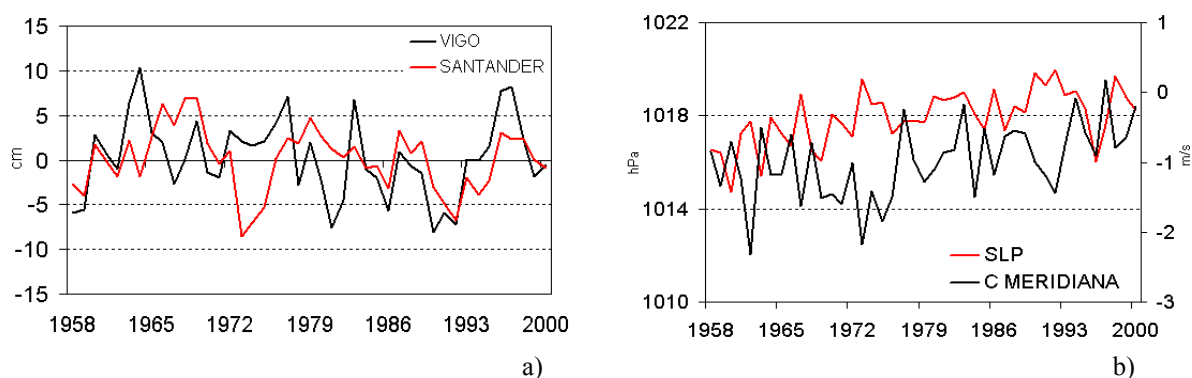


Fig. 9. Evolución de las anomalías del nivel del mar (cm) en la costa norte de la Península Ibérica (a) y de la presión (hPa) y la componente meridiana del viento (b)

El efecto amortiguador de la reciente evolución de la circulación atmosférica sobre las oscilaciones del nivel del mar en este sector de la Península Ibérica resulta al comparar la evolución del número de días en los que su altura real (valores brutos, sin eliminar la tendencia a largo plazo; Fig. 10a) superó el umbral del percentil 95, con la presión atmosférica y el valor de la marea atmosférica correspondientes a los mismos días (Fig. 10b).

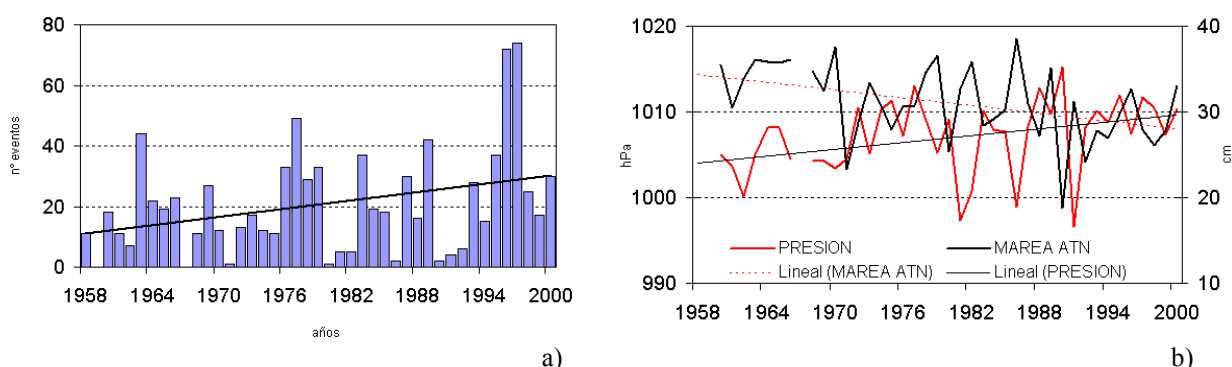


Fig. 10: Evolución del número de días en los que la altura real del nivel del mar superó el umbral del percentil 95 (a), presión atmosférica y altura relativa (b) durante esos mismos días

Es claramente perceptible un aumento de la frecuencia de dichos eventos, a los que hay que atribuir los mayores impactos sobre el litoral, particularmente en la década de los noventa. Destaca igualmente una tendencia al incremento de la presión atmosférica durante esos mismos días, en consonancia con la tendencia general señalada anteriormente. Y en este caso sí se detecta una tendencia a la disminución de la intensidad de las mareas meteorológicas, a diferencia de lo que ocurre con los valores medios, no pudiéndose detectar una evolución compensadora de las componentes del viento correspondientes a esos episodios.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de una clasificación sinóptica al fenómeno de las mareas meteorológicas (variaciones relativas del nivel del mar ajenas a los factores astronómicos) en la costa N de la Península Ibérica ha permitido la identificación de las condiciones atmosféricas responsables de este fenómeno. Las mareas positivas, más frecuentes en otoño y comienzos del invierno, donde pueden llegar a generar ascensos relativos superiores a los 50 cm, son causadas por circulaciones del SW, W, NW y ciclónicas, acompañadas de vientos del 2º y 3º cuadrantes. Las mareas negativas, algo menos espectaculares en cuanto a su magnitud, aparecen vinculadas a situaciones estables (NNE, E, A), relacionadas con el desplazamiento del Anticiclón de las Azores sobre la Península Ibérica, que dirigen vientos del 1º y 2º cuadrante sobre la región, siendo, por el contrario, típicas del verano. La variación de la presión desempeña un papel más importante en relación a la magnitud total del fenómeno, aunque el viento contribuye a diferenciar Galicia, donde se observan variaciones de magnitud superior, de Cantabria.

El análisis de la evolución de la circulación atmosférica durante el periodo estudiado permite señalar la ausencia de tendencia en la evolución de estas mareas, puesto que el aumento generalizado de la presión ha sido compensado por un aumento de la intensidad del viento meridiano. En el caso concreto de las mareas positivas, la persistencia e intensidad de las perturbaciones también ha disminuido, contrarrestando levemente los efectos del ascenso generalizado del nivel del mar.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a María Jesús García y Elena Tel, del Instituto Español de Oceanografía, la cesión de los datos que han servido para la elaboración de esta comunicación.

6. REFERENCIAS

- BELL, R.G.; GORING, D.G. and DE LANGE, W.P. (2000). "Sea-level change and storm surges in the context of climate change". *IPENZ Transactions*, 27-1, pp. 1-10.
- BIJL, W. (1997). "Impact of wind climate change on the surge in the southern North Sea". *Climate Research*, 8, pp. 45-59.
- BOULIGAND, R. and TABEAUD, M. (1999): "Les types de circulation atmosphérique à surcotes à Brest". *Annales de Géographie*, 108, pp. 227-238.

- FERNANDEZ GARCIA, F. y RASILLA, D. (1993). "El viento en la Cornisa Cantábrica. Avance de un estudio sobre los temporales del Sur". *Revista Cuadernos de Sección, Historia-Geografía*, 20, pp. 271-295.
- FERNANDEZ GARCIA, F.; RASILLA ALVAREZ, D. y HORCAS, R. (2002). Secular variations of the synoptic scale atmospheric circulation over the Iberian Peninsula. En: BRUNET INDIA, M. y LÓPEZ BONILLO (Eds.). *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp. 229-238.
- FLATHER, R.A. y SMITH, J.A., (1998). "First estimates of changes in extreme storm surge elevations due to the doubling of CO₂". *The Global Atmosphere and Ocean System*, 6, pp. 193-208.
- FRENCH, P.W. (1997): *Coastal and estuarine management*. Routledge, London.
- MCMILLAN, D.H. (1966). *Tides*. CR Books Limited.
- PIRAZZOLI, P.A. (2000). "Surges, atmospheric pressure and wind change and flooding probability on the Atlantic coast of France". *Oceanologica Acta*, 26-6, pp. 643-660.
- PIRAZZOLI, P.A. and TOMASIN, A. (2002): "Recent Evolution of Surge-related Events in the Northern Adriatic Sea". *Journal of Coastal Research*, 18-3, pp. 537-554.
- RAICICH, F. (2003). "Recent evolution of sea-level extremes at Trieste (Northern Adriatic)". *Continental Shelf Research*, 23, pp. 225-235.
- RASILLA ALVAREZ, D. y FERNANDEZ GARCIA, F. (1998). "Afloramientos de agua fría (upwelling) en el Cantábrico y su relación con la dinámica atmosférica". *Revista Ingeniería Civil*, 101, pp. 7-16.
- RASILLA ÁLVAREZ, D.; GARCÍA CODRÓN, J.C. y GARMENDIA PEDRAJA, C. (2002). Los temporales de viento: propuesta metodológica para el análisis de un fenómeno infravalorado. En: CUADRAT, J.M.; VICENTE, S.M. y SAZ, M.A. (Eds.). *La información climática como herramienta de gestión ambiental*. Zaragoza, pp. 129-136.
- TEL, E. and GARCÍA, M.J (2001). "Mean sea level changes along the northern iberian peninsular coast". *Final Workshop of COST Action 40*. Hydrographic Ins. of the Republic of Croatia.
- TEL, E. y GARCÍA, M.J (2002). "Nivel del mar en las costas españolas y su relación con el clima". *Asociación Española de Climatología (AEC)*, serie A, nº 3, pp. 101-110.
- TEL, E.; GARCÍA, M.J. and MOLINERO, J. (2003). "Statistical study of extreme sea levels on the north Spanish coast from 1943 to 2001". *Geophysical Research Abstracts*, 5, pp. 1209.
- VON STORCH, H. and REICHARDT, H., (1997). "A scenario of storm surge statistics for the German Bight at the expected time of doubled atmospheric carbon dioxide concentration. *J. of Climate*, 10, pp. 2563-2662.
- WASA (1998). "Changing waves and storms in the Northeast Atlantic". *Bull. Amer. Met. Soc.*, 79, 5, pp. 741-760.
- WOODWORTH, P.L. (1990). "A search for accelerations in records of European mean sea level". *Int. J. Climate*, 10, 129-143.