

# Identificación de riesgos geoambientales y su valoración en la zona de hundimiento del buque Prestige

## Grupo Prestige

Instituto Ciencias del Mar-CSIC (G. Ercilla G -Investigador Principal-, B. Alonso, D. Casas, F. Estrada, M. Farran, M. García); Instituto Ciencias de la Tierra-Jaime Almera-CSIC (J. Gallart, J. Díaz, M. Ruiz), Instituto Tecnológico y GeoMinero de España-IGME (L. Somoza, A. Maestro, T. Medialdea, R. León, E. Llave), Unidad de Tecnología Marina-CSIC (E. Gracia, J. Dañobeitia, M.A. García, M.A. Vizcaino, S. Díez), Universidad de Barcelona (J.A. Muñoz, E. Roca, O. Fernández, N. Carrera, B. Benjumea, J. Mencos), Universidad de Cádiz (J.T. Vázquez, M. Sayazo, C. Pérez), Universidad Complutense de Madrid (D. Córdoba, M. Octavio, L. M. Agudo), Universidad de Vigo (F. Vilas, S. García, F.J. Hernández-Molina, D. Rey, B. Rubio, R. Alvarez, R. Durán, C. A. Fernández, A. Ferrin, K. Jacob Mohamed)

### ABSTRACT

*Potential geological hazard assessment has been carried out in the area where the Prestige vessel was sunk using a broad database that comprises: multibeam, high and ultra-high resolution seismic profiles, gravity cores, onland seismicity stations and Ocean Bottom Seismometers (OBS). The main results of this study indicate that among the geologic factors that can be considered as potential hazards, four main categories can be differentiated based on their origin: morphologic, sedimentary, tectonic, and seismicity. Hazards of morphologic origin include steep gradients; the morphologic features suggest the occurrence of mass-wasting instabilities. Hazards of sedimentary origin also includes the occurrence of slope instability processes in form of single slides and a great variety of erosive and depositional gravity flows (debris and turbidity flows). Hazards of tectonic and seismic origin are important because the sinking area straddles the Galicia Bank which is a structural seamount with a moderate tectonic activity that results in a latent seismicity of low to moderate magnitude. The interaction of these factors leads to consider to the risk as medium, and the degree of exposure of the bow and stern as high.*

*Several general and specific recommendations are made in order to increase the geological and geophysics knowledge in the Prestige sinking area and Spanish continental margins and deep sea areas. These recommendations also should be used to elaborate the options for reducing the hazard and loss.*

**Key words:** hazard, morphology, sedimentology, tectonics, seismicity.

### INTRODUCCIÓN

Tras el hundimiento del buque Prestige, el Ministerio de Ciencia y Tecnología creó una Comisión de Coordinación Científica del Programa de Intervención Científica en relación con el vertido y hundimiento del buque Prestige. Esta comisión dictó una serie de acciones especiales urgentes para llevar a cabo en la zona de hundimiento. Una de ellas llevó por título "*Identificación de riesgos geoambientales potenciales y su valoración en la zona de hundimiento del buque Prestige*", cuyos resultados se presentan por primera vez en este VI Congreso Geológico de España.

En el simposium que lleva por título "*Identificación de riesgos geoambientales y su valoración en la zona de hundimiento del buque Prestige*" se presentan en detalle los diferentes estudios geológicos realizados. Estos estudios son repartidos en las charlas que a continuación se detallan:

– Presentación de la Acción Especial "*Identificación de riesgos geoambientales y su valoración en la zona de hundimiento del buque Prestige*"

- Rasgos geomorfológicos de la zona de hundimiento del Buque Prestige
- Análisis de las facies acústicas superficiales y los procesos sedimentarios recientes en el área de hundimiento del buque Prestige
- Estratigrafía sísmica del Banco de la región del Banco de Galicia: procesos tectono-sedimentarios recientes.
- Estratigrafía sísmica de la zona de hundimiento del buque Prestige
- Modelización en 3-D de las características geológicas de la zona de hundimiento del Buque Prestige
- Tectonismo de la zona de hundimiento del buque Prestige
- Sedimentología de la zona de hundimiento del buque Prestige
- Geoquímica y propiedades magnéticas de la zona de hundimiento del buque Prestige
- Sísmicidad en el área del margen de Galicia

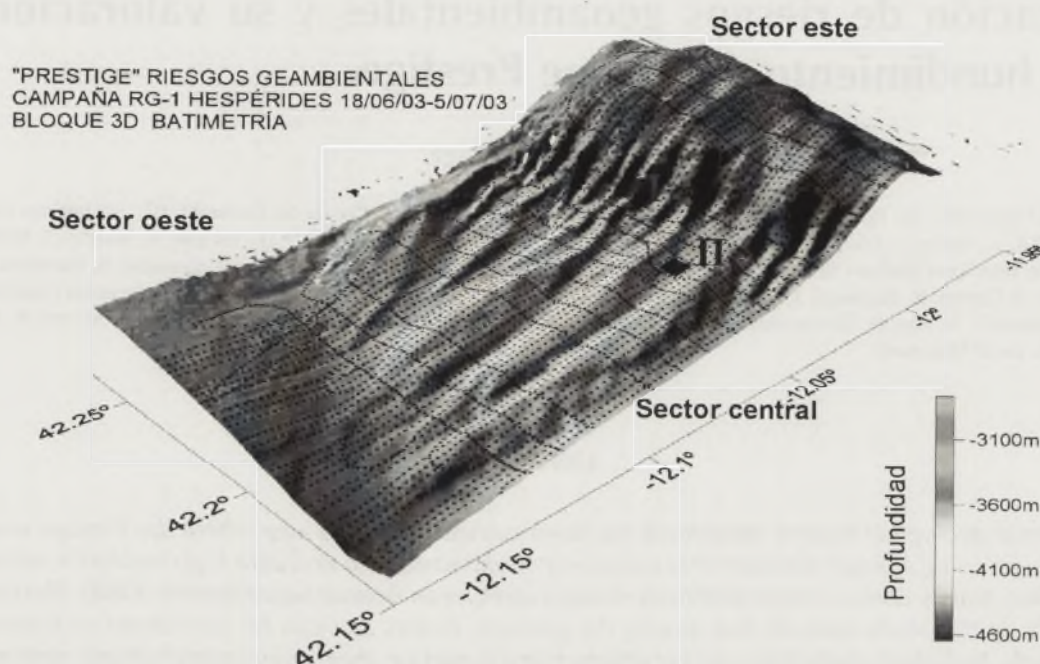


FIGURA 1. Mapa batimétrico de la zona de hundimiento mostrando la localización de la popa (I) y proa (II) del buque Prestige, y los tres sectores morfológicos definidos (oeste, central y este). Las líneas de puntos se refieren a la localización de las líneas acústicas.

## OBJETIVOS

Los dos pecios en que ha quedado fragmentado el Prestige, la popa y la proa, están situados en el flanco sudoeste del Banco de Galicia, a unas profundidades de 3565 m y 3830 m respectivamente (Fig. 1). La hipótesis de partida es que el Banco de Galicia, se trata de un relieve geoestructural con flancos de pendientes altas y morfología superficial irregular que geológicamente forma parte de un margen continental pasivo que mantiene cierta actividad tectónica y con una arquitectura sedimentaria compleja. Esta complejidad geológica refleja la interacción entre procesos tectónicos, cambios del nivel del mar, una fisiografía compleja debido a las características geoestructurales locales existentes y variaciones oceanográficas. En estos casos de complejidad geológica para la valoración de riesgos geológicos es fundamental un estudio morfológico, sedimentológico, tectónico y geofísico de las características del fondo y subfondo marino.

Los principales objetivos que comprende el estudio planteado en esta Acción Especial son los siguientes:

- Estudio de la morfología del fondo marino al objeto de poder establecer los tipos morfológicos y su génesis, especialmente los geológicamente activos,
- Reconocimiento de la arquitectura sedimentaria reciente,
- Identificación de estructuras geológicas recientes,
- Determinación de los tipos de sedimento del fondo marino y subfondo más inmediato, estratigrafía sedimentaria y distribución espacial y temporal de los mismos,

- Establecer aspectos sedimentarios, mineralógicos, morfológicos, estructurales y oceanográficos que puedan afectar a la estabilidad de la zona de hundimiento (como por ejemplo gradientes, sismicidad, compactación diferencial, fallas actuales, corrientes de fondo ...),
- Definir la huella del fuel, sobre el fondo marino y en la columna de agua mediante datos indirectos,
- Recopilación y evaluación de los datos existentes sobre la sismicidad del margen noroccidental de la Península Ibérica, que permita establecer la situación e importancia de las estructuras más activas en relación con la región del hundimiento,
- Monitorización de la actividad sísmica que presenta actualmente dicha zona, y evaluación de la microsismicidad actual en el entorno de la zona del hundimiento (número y magnitud de eventos por día y sus posibles mecanismos), y
- Caracterizar y evaluar los riesgos geoambientales.

## METODOLOGÍA

La metodología de trabajo ha consistido en el estudio de datos batimétricos obtenidos con el sistema de sonda multi-haz EM-12, perfiles de sísmica de alta (cañones de aire) y muy alta (TOPAS) resolución, y testigos de sedimento hasta 4 m de longitud obtenidos en tres campañas realizadas a bordo del buque Hespérides. Sobre las muestras de sedimento se han efectuado análisis variados al objeto de conocer su textura, composición así como propiedades físicas y geoquímicas.

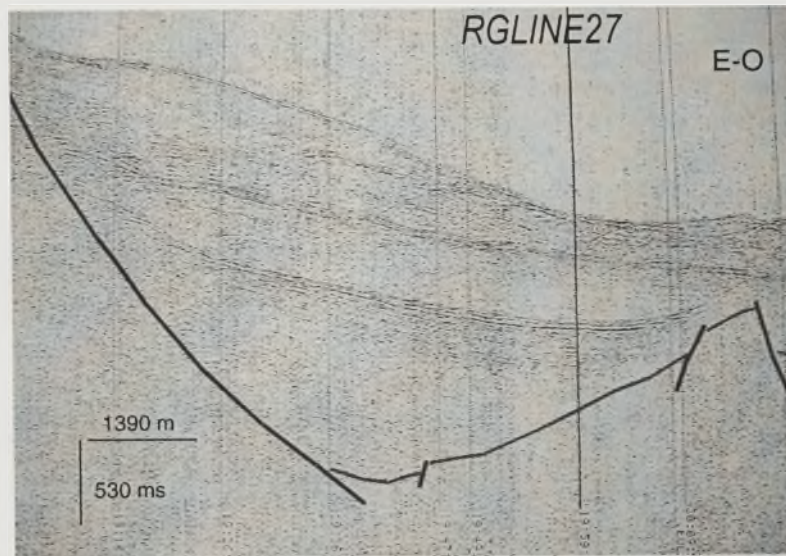


FIGURA 2. Perfil de sismica monocanal mostrando la estructura en semifosa que caracteriza a la zona de hundimiento.

Asimismo, se instalaron redes sísmicas en tierra y mar. En las campañas de tierra se desplegaron durante casi 10 meses una red de intervención sísmica terrestre en el NO Peninsular, que vienen a complementar las estaciones de registro permanente pertenecientes a la red nacional operada por el Instituto Geográfico Nacional. Por otro lado, para controlar la actividad sísmica local entorno al Prestige se instaló una red de sismómetros de fondo oceánico (OBS) alrededor de los pecios, que permaneció fondeada durante casi un mes.

### CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA DE HUNDIMIENTO

La geología de la zona de hundimiento del buque Prestige está controlada por el contexto estructural que define al Banco de Galicia. En este sentido, la zona de hundimiento se caracteriza a gran escala por estar situada en el contexto de una estructura en semifosa de dirección general N-S, con dos altos estructurales principales: uno oriental que aflora y otro occidental, que está cubierto por depósitos pero cuya

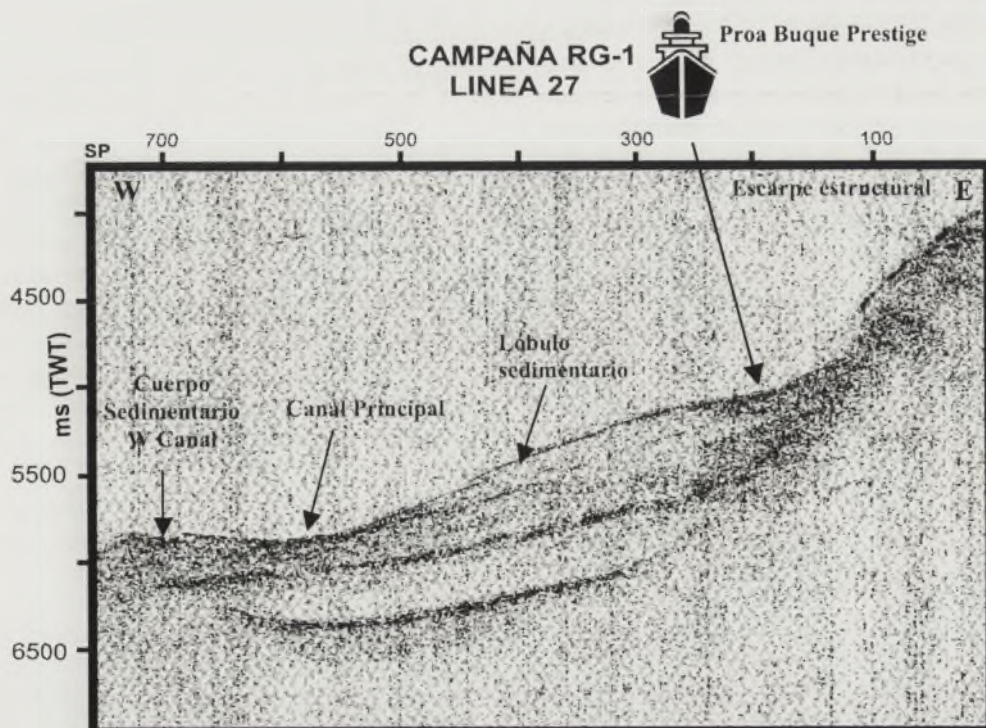


FIGURA 3. Perfil de sismica monocanal mostrando la distribución de los principales rasgos morfo-sedimentarios y morfo-tectónicos que caracterizan a la zona de hundimiento.

paleomorfología se refleja en el fondo marino actual (Fig. 2). Su flanco más abrupto es el oriental que limita uno de los altos estructurales que constituyen el Banco de Galicia. Este flanco está constituido por un importante sistema de fallas normales de dirección NNW-SSE a N-S, mientras que el flanco occidental tiene menor pendiente y corresponde al techo basculado de un bloque de falla situado más al oeste.

Esta configuración estructural ha condicionado la morfología y la distribución espacial de los depósitos en el área de hundimiento. En esta área se diferencian tres sectores geográficos, Este, central y Oeste, en base a su configuración fisiográfica y caracterización morfológica (Figs. 1 y 3). El sector Este está definido por un alto morfo-estructural de dirección N-S, que se extiende entre 2790 y 3200 m de profundidad. Este alto, que se corresponde con el flanco más abrupto de la estructura en semifosa, está caracterizado por la presencia de morfologías erosivas y deposicionales, tales como cicatrices de deslizamiento, deslizamientos y depósitos de flujos en masa. El sector central se caracteriza por la presencia de relieves positivos que representan lóbulos deposicionales y relieves negativos que se corresponden a canales. La orientación preferencial de estos relieves es E-O a NE-SO. El sector Oeste se caracteriza por la presencia de un canal que atraviesa el área de estudio con una dirección NNE-SSO.

La estratigrafía de la zona de hundimiento comprende varias unidades sísmicas (Valanginiense-Actualidad) que descansan sobre un basamento acústico que define la citada geometría en semifosa. La continuidad lateral de las unidades sísmicas está interrumpida por el escarpe del alto estructural donde afloran el basamento acústico y materiales antiguos (Fig. 3). Las facies sísmicas que caracterizan a estas unidades indican que desde el Valanginiense han prevalecido los procesos gravitativos en la zona de hundimiento. Un análisis detallado de la unidad más reciente permite establecer que los procesos erosivos y gravitacionales han predominado sobre el escarpe del alto estructural. Los procesos erosivos han sido dominantes en los canales y los procesos gravitacionales deposicionales en los lóbulos sedimentarios que desarrollan al pie del citado escarpe (Fig. 3). La principal área fuente de los sedimentos sería la erosión del material que aflora en el escarpe y posiblemente también de aquel depositado en la cresta del mismo. Tres son los posibles procesos de erosión que pueden favorecer el desmantelamiento: a) meteorización física de los afloramientos y consiguiente abrasión durante el transporte de sedimento; b) abrasión tectónica (movimiento friccional a lo largo de la superficie de la falla, y fracturas de esfuerzo); y c) meteorización química (halmirólisis).

Las evidencias directas sobre la existencia de procesos gravitativos en la zona de hundimiento se han obtenido a partir del estudio de la estratigrafía mediante testigos de sedimento, recuperados en las zonas próximas a la proa y popa. Se han definido cinco tipos de sedimento: hemipelágicos, hemiturbiditas, turbiditas, pelágicos y depósitos de flujos de derrubios. Dentro de los depósitos turbidíticos se han diferenciado varios tipos en base a su composición y textura. La estratigrafía sedimentaria que caracteriza a la zona al pie del escarpe del alto estructural está formada por el apilamiento de

secuencias turbidíticas, localmente intercaladas con secuencias hemipelágicas y depósitos de flujos de derrubios, y que hacia techo pasan a secuencias hemipelágicas y/o hemiturbiditas, salvo en la zona del escarpe donde tan sólo se identifica un apilamiento de secuencias de turbidíticas.

Los estudios de sismicidad reflejan que existe una actividad sísmica regional, difusa y mal localizada. En los últimos 30 años han ocurrido una decena de eventos de  $M \geq 4$  en un entorno de 150 km de los pecios (uno de ellos a menos de 50 km). En 10 meses de monitorización dentro de la Acción Especial, se han localizado 124 eventos, de los cuales 4 son de  $M \geq 3$  en un entorno de 150 km (uno de  $M \sim 4$  a unos 50 km). En un mes se han localizado 3 sismos de  $M \geq 2$  en un entorno de 50 km del pecio.

## RIESGOS GEOLÓGICOS EN LA ZONA DE HUNDIMIENTO

Los resultados del estudio geológico apuntan a que los riesgos geológicos potenciales en la zona de hundimiento están asociados a las características morfológicas, sedimentológicas, tectónicas y sísmicas.

Las características *morfológicas* indican que las zonas donde se localizan los pecios presentan pendientes altas ( $19^\circ$  la popa y  $4^\circ$ - $5^\circ$  la proa). Los elementos morfológicos identificados, tales como cicatrices de deslizamiento, deslizamientos, lóbulos sedimentarios gravitativos, canales y escarpe estructural sugieren la existencia de procesos gravitacionales.

La *sedimentología*, que se ha realizada mediante estudios sísmicos de alta resolución, indica que predominan los procesos gravitativos, tanto en masa como flujos (deposicionales y erosivos). El pecio de proa está localizado en el eje de un canal erosivo, mientras que el de popa está en el flanco sur también de una canal erosivo (Fig. 2). En ambos casos, los canales han sido formados y mantenidos por la acción de flujos gravitativos.

La sedimentología realizada mediante el estudio de testigos de sedimento indica que el fondo marino sobre el que descansa los pecios está constituido por un apilamiento de depósitos principalmente turbidíticos, que en el caso de la proa evoluciona a techo a depósitos hemiturbidíticos y hemipelágicos ( $< 40$  cm de espesor). Los estudios de geoquímica indican la presencia de procesos diagenéticos importantes que pueden dar lugar a cambios significativos en la composición mineralógica y textura original del sedimento, con consecuencias importantes para la movilidad de fluidos intersticiales y alteración de propiedades físicas y geotécnicas en el tiempo.

Las *características tectónicas* de la zona indican la existencia de varios sistemas de fallas que están afectando al fondo marino actual. Estas fallas son normales y direccionales, con continuidad en profundidad y afectan al basamento (Fig. 2).

La *sismicidad* pone de manifiesto la existencia de una actividad sísmica latente significativa, de magnitud pequeña a moderada a lo largo del flanco norte del Banco de Galicia.

La interacción de estas características morfológicas, sedimentológicas, tectónicas y sísmicas que definen a la zona de hundimiento del buque Prestige conllevan a valorar la peligrosidad como media, y el grado de exposición de los pecios a los factores geológicos considerados como alta.