

El gas somero en los sedimentos de la Ría de Muros-Noia (NO de España): formas de aparición y cartografía

Shallow gas in sediments of the Ría de Muros-Noia (NW Spain): apparition forms and mapping

J. MAGARIÑOS-ÁLVAREZ, S. GARCÍA-GIL Y F. VILAS

ABSTRACT

High-resolution seismic reflection and side-scan sonar records have been analysed and interpreted in order to detect shallow gas signatures in the Ría de Muros-Noia (NW Spain). The different gas features have been classified into four types according to their specific seismic signatures: 1) acoustic blankings *s.s.*, with a flat top surface and kilometric extent, 2) acoustic curtains, with a convex top surface and some tens of meters of lateral extent, 3) acoustic columns, with an enhanced reflector at the top and an averaged extent of 20 m, and 4) acoustic turbidity, distinguishable as a diffuse perturbation of the records. At the same time, two different types of gas escape features have been also distinguished: a) acoustic plumes into the water column, rising up to 10 m above the present seafloor, and b) pockmarks on the present seabed, recognised as highly reflective areas in the side-scan sonar records. Mapping of acoustic blankings *s.s.* reveals the presence of a large gas field (11.5 km²) in the inner part of the ría. In this field the top of the gas accumulates from the close seabed surface up to 4 ms TWT (3.2 m) in depth. Moreover a map with the spatial distribution of the gas accumulations and of the gas escape features is shown.

Dpto. de Geociencias Marinas y O. T., Facultad de Ciencias, Universidade de Vigo. C.P.: E-36200, Vigo (Pontevedra), Spain. Fax: 986-812556, e-mail: jma@uvigo.es.

Keywords: High-resolution seismic records, Side-scan Sonar, shallow gas accumulations, gas seeps, pockmarks, Ría de Muros-Noia.

RESUMEN

Se han analizado e interpretado registros sísmicos de alta resolución y de sonar de barrido lateral, en los que se han detectado la presencia de gas somero en la Ría de Muros-Noia (NO de España). Las evidencias que indican la acumulación de gas han sido clasificadas en cuatro tipos atendiendo a sus características sísmicas específicas: 1) apantallamientos acústicos *s.s.*, con la parte superior plana y extensiones laterales de varios kilómetros, 2) cortinas acústicas, con la parte superior convexa y algunas decenas de metros de extensión lateral, 3) columnas acústicas, con un reflector muy marcado en la parte superior y una extensión media de 20 m, y 4) turbidez acústica, caracterizada por una perturbación difusa de los registros. A su vez, dos tipos de evidencias de escape de gas han sido reconocidos: a) plumas acústicas en la columna de agua ascendiendo desde el fondo, llegando a alcanzar hasta 10 m de altura sobre el mismo, y b) pockmarks sobre la superficie del fondo actual, reconocibles como zonas de alta reflectividad en los registros de sonar de barrido lateral. La cartografía de los apantallamientos *s.s.* revela la presencia de un campo de gas de 11,5 km² situado en la zona interna de la ría. La profundidad a la que se sitúa el techo de esta acumulación de gas varía desde los 4 ms (tiempo doble de viaje, TWT)(3,2 m) hasta zonas donde coincide con el fondo actual. Finalmente, se presenta un mapa con la distribución espacial tanto de las formas de acumulación de gas como de las de escapes.

Palabras clave: Registros sísmicos de alta resolución, Sonar de barrido Lateral, acumulaciones de gas somero, escapes de gas, pockmarks, Ría de Muros-Noia.

INTRODUCCIÓN

La presencia de gas somero en sedimentos en el medio marino es un fenómeno descrito a escala mundial durante largo tiempo. Desde la década de los 50 del pasado siglo, diferentes anomalías, tanto en registros de ecosonda como de sonar de barrido lateral, han sido interpretados como un indicativo del escape de gases desde el fondo marino. La incorporación de métodos sísmicos de reflexión a la exploración de los fondos oceánicos ha aportado numerosas evidencias de la existencia de acumulaciones de gas en los sedimentos marinos. Schüler (1952) fue el primero en mencionar el efecto de enmascaramiento acústico de los sedimentos, en registros de ecosonda de las Bahías de Eckernförde y Kiel (SO Mar Báltico), debido a la presencia de gas somero. A este efecto lo denominó *Basin Effect* (Beckeneffekt), y es más conocido actualmente como “turbidez acústica” (Wever y Fielder, 1995). En los registros sísmicos la presencia de gas en los sedimentos marinos provoca la atenuación y dispersión de

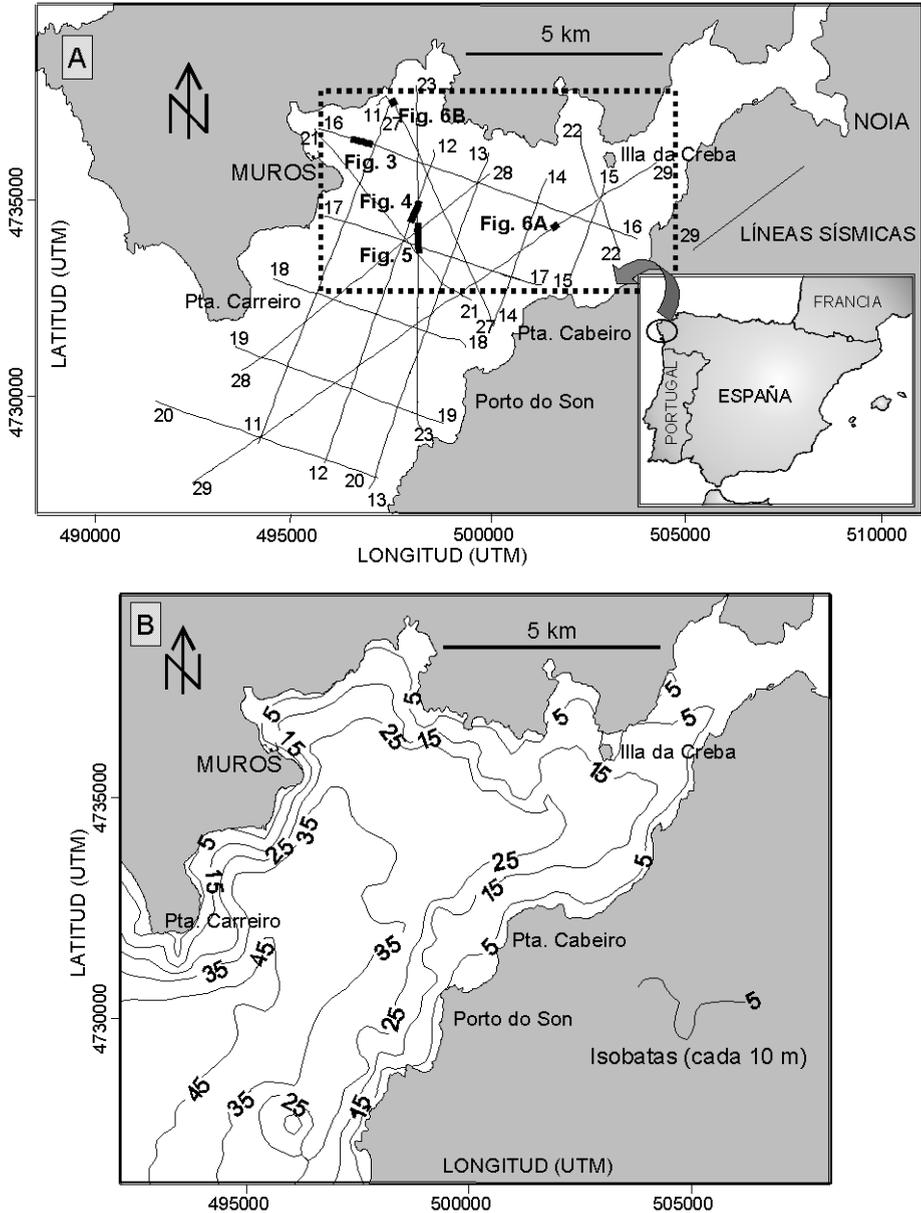


FIG. 1.- **A)** Localización geográfica y situación de la malla de perfiles geofísicos realizados. Se indica también la localización de las figuras 3, 4, 5 y 6, así como la zona donde se detectan evidencias de gas (recuadro punteado). **B)** Mapa batimétrico de la Ría de Muros-Noia.

FIG. 1.- **A)** Sketch of the area location and situation of the geophysical profiles. Also depicted is location of figures 3, 4, 5 and 6, as well as the zone where there are evidences of gas (dotted rectangle). **B)** Bathymetric map of the Ría de Muros-Noia.

la energía acústica, disminuyendo su penetración y produciendo un efecto de apantallamiento acústico (*gas blanking, acoustic masking, acoustic turbidity*: Hovland y Judd, 1988).

Diferentes autores han indicado la presencia de metano y otros gases en sedimentos marinos someros (Emery y Hoggan, 1958; Hovland y Judd, 1988; Fader, 1991; Davis, 1992; Wever y Fielder, 1995; Karisiddaiah y Veerayya, 1996). Asimismo se describe la presencia de gas en zonas costeras, tales como bahías o estuarios, de todo el mundo (Acosta, 1982, 1984; Hovland y Judd, 1988; Fader, 1991; Taylor, 1992; Karisiddaiah *et al.*, 1993; Pickrill, 1993; Hempel *et al.*, 1994; Kelley *et al.*, 1994).

A lo largo de las costas españolas se han encontrado acumulaciones de gas somero en diversos ambientes marinos, como el talud del Golfo de Cádiz (Ercilla y Baraza, 1996) y las Rías Baixas: Muros-Noia (Acosta, 1982, 1984; Somoza y Rey, 1991; Rey, 1993, Magariños-Álvarez *et al.*, 2001), Arousa (Rey, 1993; García-Gil *et al.*, 2000a), Pontevedra (Durán *et al.*, 2001) y Vigo (García-García *et al.*, 1999).

La presencia en la superficie del fondo marino de cráteres atribuidos al escape de gas fue indicada por primera vez por King y McLean (1970) en la plataforma continental de Nova Scotia (costa SE de Canadá). Para denominar a tales formas se propuso el término *pockmark*. Considerados inicialmente como simples curiosidades geológicas, trabajos posteriores de distintos autores han demostrado que los *pockmarks* se encuentran en otras muchas zonas tales como el Mar del Norte (Bøe *et al.*, 1998), el Estrecho de Ormuz (Driscoll y Uchupi, 1997), la Bahía de Belfast (Kelley *et al.*, 1994), el Mar de Barents (Solheim y Elverhoi, 1993), el Lago Rotoiti (Pickrill, 1993), y las Rías Baixas: Muros-Noia (Magariños-Álvarez *et al.*, 2001), Arousa (Ferrín *et al.*, 2001), Pontevedra (Durán *et al.*, 2001) y Vigo (García-Gil *et al.*, 1999a).

El objetivo de este trabajo es realizar una caracterización detallada de los distintos tipos de evidencias, tanto de acumulación como de escape de gas, basada en las respuestas acústicas presentes en los registros geofísicos de alta resolución. Además, se determina la distribución espacial de los diferentes tipos de evidencias.

MARCO DE REFERENCIA

La Ría de Muros–Noia ocupa la posición más septentrional y es la de menor tamaño dentro de las Rías Baixas, con una orientación de su eje mayor en dirección N60°E (Fig. 1A). Su forma es de embudo en planta, con 125 km² de superficie, 12,5 km de longitud en su eje mayor, y una anchura muy variable, que va desde 1,3 km hasta 7,9 km. Aunque en su interior se localizan algunas pequeñas islas, la mayor de las cuales es Illa da Creba (situada en la parte más interna de la ría), se diferencia de las otras tres Rías Baixas (Vigo, Pontevedra y Arousa) en que no aparece ninguna isla en su entrada que actúe de protección frente a la alta energía de los temporales del SO. En la boca de la ría se alcan-

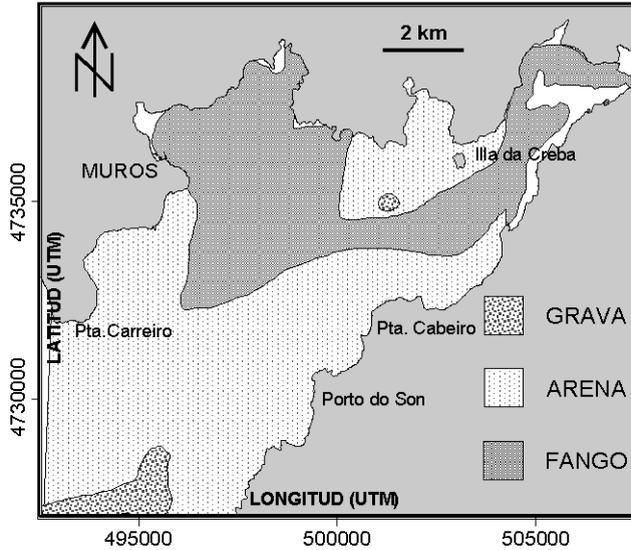


FIG. 2.- Mapa de distribución textural de los sedimentos superficiales en la Ría de Muros-Noia.
FIG. 2.- Textural map of distribution of surface sediments in the Ría de Muros-Noia.

zan profundidades de 51 m, mientras que en la cabecera la profundidad disminuye hasta 5,5 m (Fig. 1B). La Ría de Muros-Noia presenta en su zona externa un amplio canal central, con márgenes asimétricas y una profundidad media que oscila entre los 42 y los 45 m. En su zona central la ría se ensancha, y el fondo, morfológicamente, se torna más suave y amplio, disminuyendo la profundidad hasta unos 30 m. La zona interna es más estrecha y somera (15 m).

La batimetría y el régimen hidrodinámico controlan la distribución sedimentaria de los fondos de la Ría de Muros-Noia. La distribución textural de los sedimentos del fondo actual consiste en: 1.- fangos ricos en materia orgánica, que cubren aproximadamente el 30% de la superficie total de la ría, 2.- arenas, que ocupan un 39% de la misma (lo que la hace la más arenosa de todas las Rías Baixas), y 3.- gravas, que representan el 12% de la superficie (Fig. 2).

METODOLOGÍA

Durante la campaña geofísica realizada en la Ría de Muros-Noia en abril de 1999 a bordo del B/O "Mytilus" se obtuvo un total de 169 km de registros sísmico-acústicos de alta resolución, siguiendo una malla rectangular con las líneas espaciadas de 1,6 km (E-O) a 2,2 km (N-S)(ver Fig. 1A). Se han interpretado perfiles sísmicos de reflexión de alta resolución obtenidos con un equipo de tipo Boomer (Bubble Pulser SPR-1200), trabajando a 400 Hz con una cadencia

de disparo de 250 ms, y como sistema receptor un “streamer” con una serie de 10 hidrófonos. También se realizaron registros con un perfilador de fondos trabajando a 3,5 kHz y una cadencia de disparo de 125 ms. Los datos sísmicos se indican en ms de tiempo doble de viaje (TWT), utilizándose para la conversión de los datos a metros una velocidad de propagación media de las ondas de 1600 m/s en el sedimento no consolidado y de 1520 m/s en el agua, teniendo en cuenta los datos obtenidos por Geomytsa (Informe MOPT, 1992). Además se han utilizado registros realizados con un sonar de barrido lateral C-MAX, modelo CM-800 (375 kHz, 2 canales) con una cobertura lateral de 150 m. Se empleó una ecosonda modelo KODEN CVS-106 para la toma de datos de profundidad, la cual no permitió el registro gráfico de los mismos. Para la navegación y el posicionamiento se ha usado un sistema de posicionamiento global con diferencial (DGPS), modelo FURUNO GP-35, combinado con una unidad de Trisponder. Para la elaboración del mapa de distribución textural de los sedimentos superficiales se han utilizado muestras tomadas en una campaña oceanográfica de muestreo llevada a cabo en 1998 a bordo del B/O “Investigador”. Para la clasificación de evidencias de gas somero se han seguido los términos establecidos para la Ría de Vigo por García-Gil *et al.* (1999a), basados en la respuesta sísmica, geometría y dimensiones.

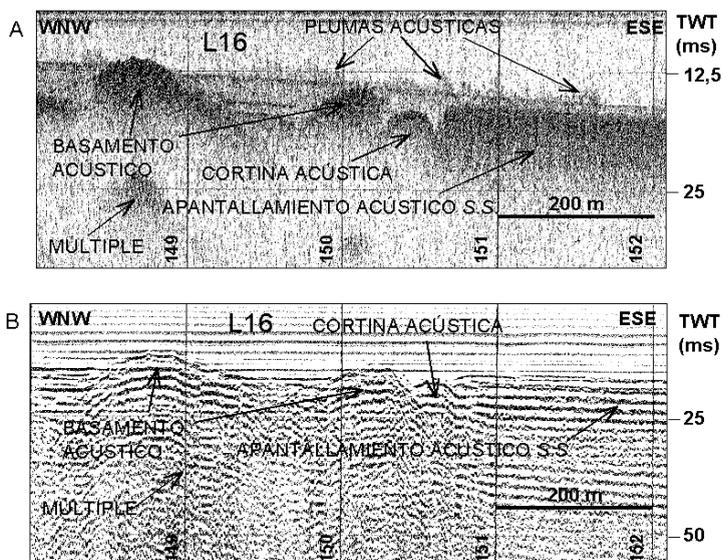


FIG. 3.- Acumulaciones de gas de los tipos apantallamiento acústico s.s. y cortina acústica, y escapes asociados del tipo pluma acústica. Línea L-16. **A)** Registro de perfilador de fondos (3,5 kHz). **B)** Registro de Boomer. TWT (ms): tiempo doble en milisegundos. Ver localización del perfil en la Figura 1.

FIG. 3.- Acoustic blanking s.s and acoustic curtain gas accumulations, and acoustic plume type associated seeps. Line L-16. **A)** 3.5 kHz sub-bottom profiler record. **B)** Boomer record. TWT (ms): two-way time in milliseconds. For location see Figure 1.

RESULTADOS

TIPOS DE ACUMULACIÓN DE GAS

Las acumulaciones de gas presentes en el relleno sedimentario de la Ría de Muros-Noia son claramente reconocibles en los perfiles sísmicos de alta resolución, tanto en los registros de Boomer como en los de perfilador de fondos (de forma mucho más clara y evidente en estos últimos). No obstante, es la utilización conjunta de ambos tipos de registros lo que, en muchos casos, permite determinar que tipo de acumulación es la que aparece en ellos.

El análisis de los registros sísmicos de la Ría de Muros-Noia permite identificar cuatro tipos principales de acumulaciones de gas: 1) Apantallamientos acústicos s.s., 2) Cortinas acústicas, 3) Columnas acústicas, y 4) Turbidez acústica, equivalentes a las descritas por García-Gil *et al.* (1999a) para la Ría de Vigo.

Los *apantallamientos acústicos s.s.* (Figs. 3, 4 y 5) pueden ser identificados por el total enmascaramiento del registro sísmico por debajo del frente superior del gas tanto en los registros de perfilador de fondos (3,5 kHz) como en los registros de Boomer, lo que no permite establecer una conexión con la fuente generadora del gas. El límite superior de este tipo de acumulación es detectable

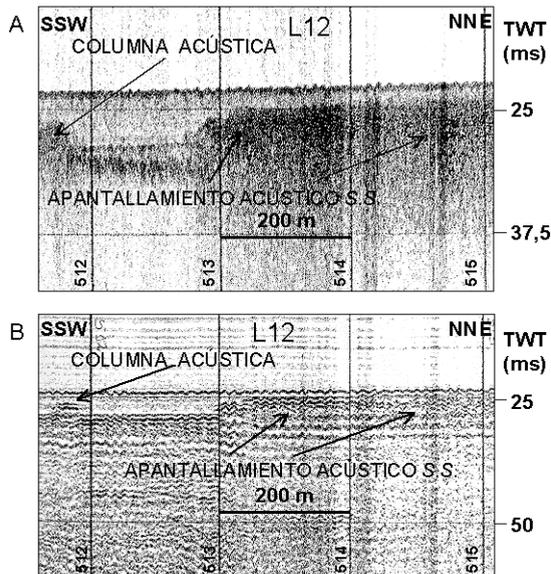


FIG. 4.- Acumulaciones de gas de los tipos columna acústica y apantallamiento acústico s.s. Línea L-12. **A)** Registro de perfilador de fondos (3,5 kHz). **B)** Registro de Boomer. TWT (ms): tiempo doble en milisegundos. Ver localización del perfil en la Figura 1.

FIG. 4.- Acoustic column and acoustic blanking s.s gas accumulations. Line L-12. **A)** 3.5 kHz sub-bottom profiler record. **B)** Boomer record. TWT (ms): two-way time in milliseconds. For location see Figure 1.

en los registros de perfilador de fondos (3,5 kHz) como una superficie de geometría plana o ligeramente inclinada, que observada en detalle presenta un límite difuso (Fig. 3A). En los registros de Boomer esta superficie también aparece como un reflector con geometría generalmente plana, que en detalle da una reflexión difusa (Fig. 3B). Son las formas de acumulación de gas más frecuentes en la Ría de Muros-Noia y su extensión lateral varía entre 0,7 km y 7,6 km, con límites laterales también difusos en los registros de Boomer y más netos en los de perfilador de fondos (3,5 kHz). Este tipo de acumulación sería comparable a los *blankets* descritos por Taylor (1992), y a los *acoustic blanking* o *acoustic masking* de Hovland y Judd (1988).

Las *cortinas acústicas*, al igual que los apantallamientos *s.s.*, dan lugar a un total enmascaramiento del registro sísmico infrayacente, tanto en los registros de perfilador de fondos (3,5 kHz.) como en los registros de Boomer (Figs. 3A y B), y no es posible, por tanto, establecer una conexión con la fuente del gas. Son las acumulaciones de gas menos frecuentes en la ría. La parte superior de esta acumulación muestra una geometría convexa, que aparece en forma de un reflector muy marcado con inversión de fase en los registros de Boomer (Fig. 3B). Su extensión lateral media es de 100 m. En los registros de perfilador de fondos (3,5 kHz.) la respuesta acústica es muy similar a la del basamento acústico (Fig. 3A), siendo posible establecer la diferencia entre ambos (cortina-basamento) en el registro de Boomer, por la presencia del reflector con inversión de fase que se observa en la cortina acústica y no en el basamento acústico, el cual llega a aflorar en la superficie actual del fondo (Fig. 3A). Este tipo de acumulación es muy similar, tanto en forma como en dimensiones, a las *curtains* de Taylor (1992) o a los *mushroom type* de Karisiddaiah *et al.* (1993).

Las *columnas acústicas* aparecen en los registros sísmicos como perturbaciones verticales (Figs. 4A y B), que en ocasiones llegan a dar zonas totalmente transparentes. El límite superior es detectable como una reflexión horizontal bastante fuerte acompañada de inversión de fase en los registros de Boomer, y en este caso sí es posible establecer una relación con la fuente generadora de gas (Fig. 4B). Suelen aparecer próximas a los apantallamientos *s.s.* y cortinas acústicas, y son bastante frecuentes en la ría, aunque mucho menos que los apantallamientos. Su extensión lateral media es de 20 m. Estructuras con características sísmicas similares, las *transparent columnar perturbances*, han sido descritas por Hovland y Judd (1988), que les atribuyen un origen por migración vertical de fluidos, probablemente gas.

La *turbidez acústica* es relativamente frecuente en la ría. Se observa como una perturbación más o menos intensa de los registros de Boomer, y como un reflector remarcado (*enhanced reflector*) en ambos tipos de registro (perfilador de fondos (3,5 kHz) y Boomer), por lo que en ocasiones es posible continuar los reflectores a través de esa zona (Figs. 5A y B). No es posible, sin embargo, establecer la relación con la fuente generadora de gas. El origen de esta distorsión del registro está en la dispersión de energía acústica debida a la presencia de gas en los sedimentos. Según Fannin (1980), la presencia de tan sólo un 1% de gas en el sedimento puede dar lugar a este efecto.

La cartografía de los apantallamientos acústicos *s.s.* revela la presencia de un extenso campo de gas (de aproximadamente 11,5 km²), situado en la zona interna de la ría, en el cual el techo de la acumulación de gas se sitúa desde casi la superficie del fondo actual hasta zonas donde alcanza los 4 ms TWT (3,2 m) de profundidad (Fig. 7).

TIPOS DE ESCAPES DE GAS

En la Ría de Muros-Noia se distinguen dos tipos diferentes de evidencias de escape de gas, equivalentes a las descritas por García-Gil *et al.* (1999a), observables en la columna de agua y/o sobre la superficie del fondo: 1) Plumas acústicas, detectables en los registros de perfilador de fondos (3,5 kHz), y 2) Pockmarks, detectables en los registros de sonar de barrido lateral.

Las *plumas acústicas* se detectan en los registros del perfilador de fondos (3,5 kHz) como una perturbación acústica en forma de “pluma” ascendente, desde la superficie del fondo, a través de la columna de agua, llegando a ele-

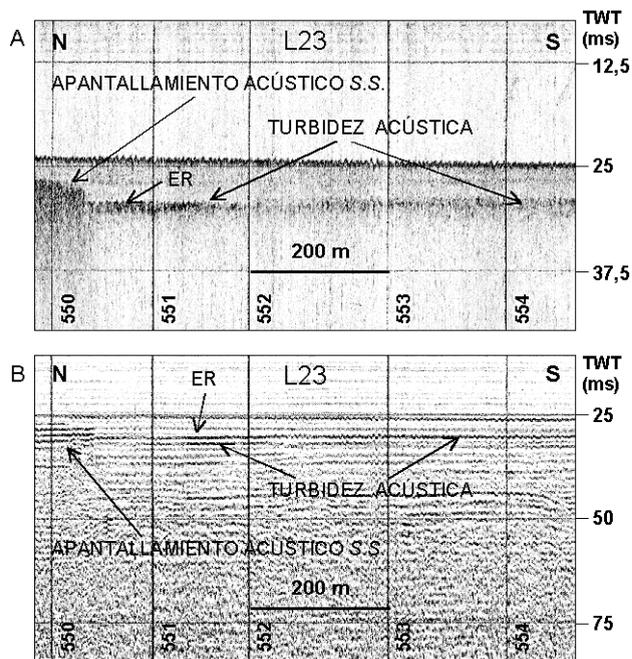


Fig. 5.- Acumulaciones de gas de los tipos turbidez acústica y apantallamiento acústico *s.s.* Línea L-23. A) Registro de perfilador de fondos (3,5 kHz). B) Registro de Boomer. TWT (ms): tiempo doble en milisegundos, ER: Enhanced reflector (reflector remarcado). Ver localización del perfil en la Figura 1.
Fig. 5.- Acoustic turbidity and acoustic blanking *s.s.* gas accumulations. Line L-23. A) 3.5 kHz sub-bottom profiler record. B) Boomer record. TWT (ms): two-way time in milliseconds, ER: Enhanced reflector. For location see Figure 1.

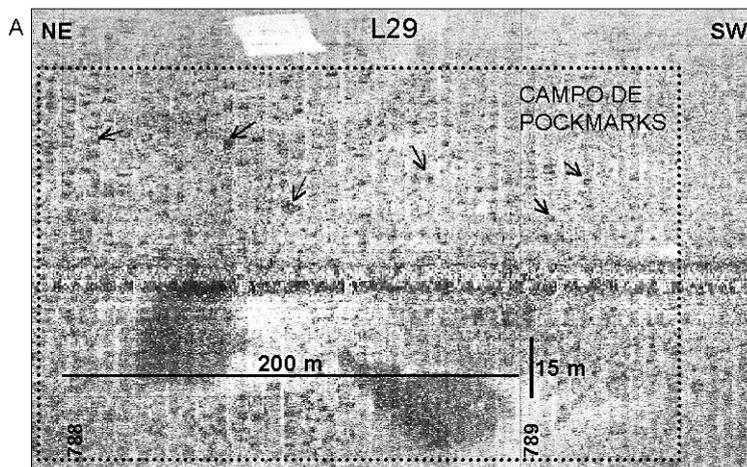


FIG. 6A.- Campo de pockmarks en la superficie del fondo actual de la Ría de Muros-Noia. Línea L-29. Fragmento de una sonografía de sonar de barrido lateral (375 kHz). Cobertura lateral de 75 m por cada banda. La trayectoria del barco es de NE a SW. Ver localización del perfil en la Figura 1.

FIG. 6A.- Pockmarks field on the present seabed of the Ría de Muros-Noia. Line L-29. Side-scan sonar record detail (375 kHz). Lateral cover of 75 m in each side. Ship course is from NE to SW. For location see Figure 1.

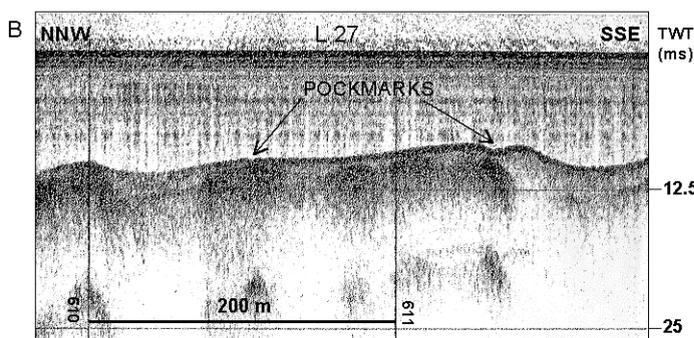


FIG. 6B.- Pockmarks en la superficie del fondo actual de la Ría de Muros-Noia. Línea L-27. Registro de perfilador de fondos (3,5 kHz). TWT (ms): tiempo doble en milisegundos. Ver localización del perfil en la Figura 1.

FIG. 6B.- Pockmarks on the present seabed of the Ría de Muros-Noia. Line L-27. 3.5 kHz sub-bottom profiler record. TWT (ms): two-way time in milliseconds. For location see Figure 1

varse hasta 10 m de altura. Pueden aparecer aisladas o en grupos, formando campos de plumas (ver Fig. 3A). Es frecuente observar la presencia de algún tipo de acumulación y/o escape de gas infrayacente a las plumas, siendo estos su fuente generadora. En este trabajo se usa el término “pluma” con la misma acepción que en García-Gil *et al.* (1999a), y se reserva para denotar la presencia de un cierto tipo de evidencia de escape de gas. Es conveniente resaltar esto,

ya que Taylor (1992) usa el término *plume* para referirse a un tipo de acumulación de gas, el cual no ha sido encontrado en los registros sísmicos obtenidos en la Ría de Muros-Noia.

Los *pockmarks* son la evidencia morfológica de la expulsión de fluidos (gases y agua), y aparecen como depresiones locales en forma de cráter sobre la superficie del fondo (Hovland y Judd, 1988). Estas formas de escape de gas son detectables en los registros de sonar de barrido lateral, y aparecen como pequeñas manchas muy oscuras (alta reflectividad) con una geometría entre circular y ovalada (Fig. 6A). Debido a este aspecto característico en los registros de sonar de barrido lateral, Hovland (1989) los ha denominado *eyed-pockmarks*. Los *pockmarks* en la Ría de Muros-Noia tienen unas dimensiones que varían entre 0,59 m x 1,03 m y 5,88 m x 8,23 m, según las medidas efectuadas en los registros de sonar de barrido lateral. En los registros del perfilador de fondos (3,5 kHz) muestran una sección típica en forma de “V” sobre la superficie del fondo (Fig. 6B). En este trabajo usamos el término original de *pockmark* (King y McLean, 1970), ya que desde su descubrimiento su uso se ha generalizado. Hovland y Judd (1988) han confirmado y elaborado la teoría inicial de formación de estas estructuras sugerida por King y McLean (1970). Así, consideran que estas depresiones se originan a causa de los fluidos que escapan a través del fondo marino, y añaden que en la mayor parte de los casos este fluido es gas.

Los *pockmarks* pueden aparecer aislados o con frecuencia formando campos de *pockmarks* (Fig. 8), en las zonas donde los apantallamientos s.s. se localizan próximos a la superficie del fondo actual. Este último hecho también se obser-

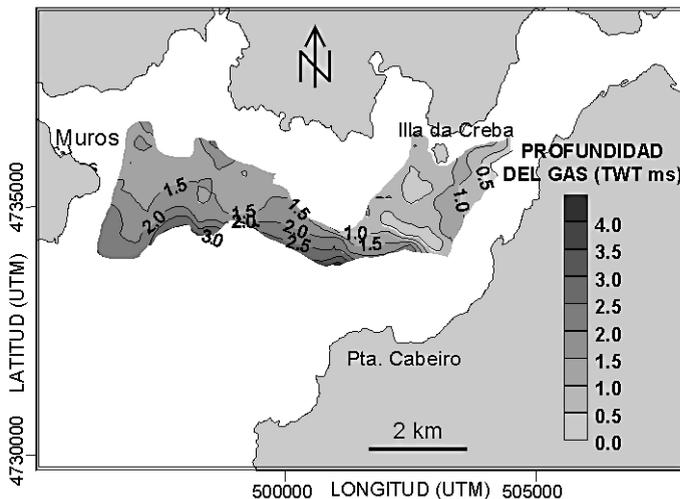


FIG. 7.- Mapa de distribución de las acumulaciones de gas del tipo apantallamiento acústico s.s. en la Ría de Muros-Noia, indicándose también la profundidad a la que se encuentra el techo del gas en ms TWT.

FIG. 7.- Zone with gas accumulations of acoustic blanking s.s. type in the Ría de Muros-Noia. Also depicted is the top of the gas depth in ms TWT.

va con los escapes (plumas acústicas) hacia la columna de agua (ver Fig. 3A), asociados a las zonas donde las acumulaciones de gas son muy someras (Fig. 8). Basándose en la relación directa entre estas acumulaciones y las formas de escape, parece evidente que dichas acumulaciones son las fuentes del gas que escapa, originando los *pockmarks* y plumas acústicas.

DISTRIBUCIÓN EN LA RÍA

El estudio de la localización de los diferentes tipos de acumulaciones y escapes dentro de la Ría de Muros-Noia muestra una distribución espacial característica (Fig. 8): 1º) los apantallamientos acústicos *s.s.* ocupan las partes centrales del campo de gas, 2º) las cortinas acústicas aparecen en el límite de dicho campo, 3º) las columnas y turbidez acústicas se localizan a continuación en las zonas contiguas y próximas al campo y 4º) por último, en las zonas más externas se localizan las formas de escape, plumas y *pockmarks*, aunque estos últimos también aparecen en el interior del campo cuando el frente de gas está muy próximo a la superficie.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Si se compara la localización del campo de gas con la distribución de sedimentos superficiales en el fondo de la Ría de Muros-Noia (Fig. 2) se observa una coincidencia casi perfecta entre las zonas donde aparecen apantallamientos *s.s.* y cortinas acústicas con las áreas donde se sitúan los sedimentos superficiales más finos (fangos).

Como ya se ha dicho, dentro de la ría se aprecia una distribución espacial de aquellas zonas con presencia de gas, desde su zona más interna hacia las zonas más externas, de los distintos tipos de acumulaciones y escapes similar a la descrita en la Ría de Vigo por García-Gil *et al.* (1999a). Estos autores señalan que las distintas formas de acumulación de gas podrían estar relacionadas con el porcentaje de gas contenido en los sedimentos, siendo este mayor en los apantallamientos acústicos *s.s.* y cortinas acústicas, y menor en los otros tipos de acumulaciones. Indican también la importancia de las facies como factor de control, tanto lateral como vertical, en la distribución de los distintos tipos de acumulaciones de gas, así como en el hecho de que este se acumule o escape, dependiendo de la efectividad del sello suprayacente.

Aun no ha sido posible realizar ningún análisis directo del gas contenido en los sedimentos de la Ría de Muros-Noia para confirmar su origen y composición, pero, al igual que en la Ría de Vigo (García-Gil *et al.*, 1999a), el espesor de los sedimentos (menos de 100 m) y la escasa profundidad de la columna de agua (menos de 50 m) excluyen un origen termogénico del mismo, así como la presencia de hidratos de gas, ya que no se alcanzan las condiciones de presión y temperatura adecuadas para la formación de cualquiera de ellos (Floodgate y Judd, 1992). Los gases hallados en sedimentos marinos someros incluyen dió-

xido de carbono, sulfuro de hidrógeno, etano y metano. Pero de todos ellos el único que presenta cantidades elevadas y se encuentra en zonas amplias en los sedimentos marinos es el metano (Floodgate y Judd, 1992). Por ello se sugiere que el gas contenido en los sedimentos de la Ría de Muros-Noia debe ser mayoritariamente metano de origen biogénico, originado por degradación bacteriana de la materia orgánica contenida en los mismos. No obstante, no es descartable la existencia de otras fuentes tales como la actividad termal y/o el radón relacionados con el basamento granítico (García-Gil *et al.*, 1999a).

Se aprecia que, en general, el techo de las acumulaciones de gas se sitúa en zonas más profundas (respecto al fondo actual) en la parte más meridional del campo, donde también existe una mayor profundidad de la columna de agua. Esto mismo ha sido observado en la Ría de Vigo (García-Gil *et al.*, 1999a) y en la Ría de Arousa (García-Gil *et al.*, 2000a). Podría indicar, por tanto, un control batimétrico indirecto en la distribución de las distintas formas de acumulación y escapes de gas, ya que la batimetría es uno de los factores de control en la distribución de las facies (Vilas *et al.*, 1995).

Los fangos que conforman la unidad estratigráfica holocena del relleno sedimentario de la Ría de Muros-Noia constituirían el sello para las acumulaciones de gas presentes en la ría. El techo de las acumulaciones de gas se localiza a diferentes profundidades, desde casi la superficie del fondo actual hasta los 4 ms TWT (3,2 m), dentro de los sedimentos que componen la unidad sísmica

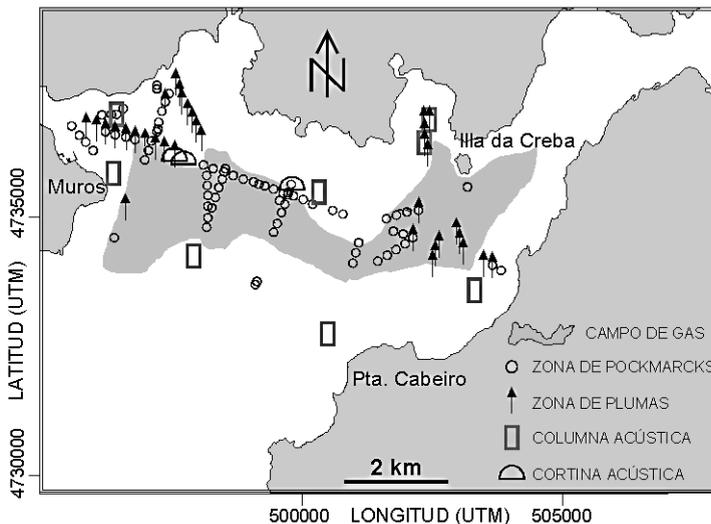


FIG. 8.- Mapa de distribución de las acumulaciones de gas del tipo apantallamiento acústico s.s. en la Ría de Muros-Noia. Se indican también la situación de los otros tipos de acumulaciones y de evidencias de escape de gas.

FIG. 8.- Zone with gas accumulations of acoustic blanking s.s. type in the Ría de Muros-Noia. Also depicted is the situation of the other types of gas accumulations and gas seep features.

holocena más reciente. Esta unidad sísmica de la Ría de Muros-Noia se correlaciona con la unidad sísmica (d) más reciente de la secuencia S3 del Holoceno de la Ría de Vigo (García-Gil *et al.*, 2000b). El análisis de testigos de gravedad y de vibrocores obtenidos en la Ría de Vigo, dentro de la zona de los fangos que constituyen el sello del gas en esta ría, muestran que dicha unidad está compuesta mayoritariamente por fangos, aunque hacia la base se hace más arenosa (García-Gil *et al.*, 2001).

Basándose en los datos expuestos, parece bastante probable que el gas presente en los sedimentos de la Ría de Muros-Noia sea metano procedente de la descomposición bacteriana de la materia orgánica contenida en los mismos. Los niveles en los que se acumula la materia orgánica (fuente de este gas) podrían localizarse en las unidades sísmicas infrayacentes e incluso en la base de la unidad sísmica más reciente, ya que se observan evidencias de gas (acumulaciones y/o escapes) en áreas de la Ría de Muros-Noia donde esta unidad se apoya directamente sobre basamento granítico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el nº 230 del Grupo de Investigación EX1 de la Universidad de Vigo. Es una contribución a los proyectos PGIDT00PXI30105PR y REN2000-1102 MAR, y parcialmente a los proyectos PGIDT00MAR30103PR e IGCP-464.

REFERENCIAS

- ACOSTA, J. (1982): Apantallamientos acústicos en la ría de Muros y Noya y en el Margen Continental de Cádiz. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, VII, 341: 127-149.
- ACOSTA, J. (1984): Occurrence of acoustic masking in sediments in two areas of the continental shelf of Spain: Ría de Muros (NW) and Gulf of Cadiz (SW). *Marine Geology*, 58: 427-434.
- BØE, R., RISE, L., OTTENSEN, D. (1998): Elongate depressions on the southern slope of the Norwegian Trench (Skagerrak): morphology and evolution. *Marine Geology*, 146: 191-203.
- DAVIS, A. M. (Ed.) (1992): *Methane in Marine Sediments*. 185 p., Continental Shelf Research, 12 (10).
- DRISCOLL, N., UCHUPI, E. (1997): The importance of gas and groundwater seepage in landscape and seascape evolution. *Thalassas*, 13: 35-48.
- DURÁN, R., GARCÍA-GIL, S., VILAS, F. (2001): Side scan sonar mapping and shallow gas occurrences in a ría environment: Ría de Pontevedra (NW Spain). *Resúmenes GSA-GSL Earth System Processes Meeting*, Edimburgo (Escocia): p. 104.
- EMERY, K. O., HOGGAN, D. (1958): Gases in marine sediments. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 42: 2174-2188.
- ERCILLA, G., BARAZA, J. (1996): Evidencias de gas en sedimentos del talud del Golfo de Cádiz. *Geogaceta*, 20(1): 180-182.
- FADER, G. B. J. (1991): Gas-related features from the eastern canadian continental shelf. *Continental Shelf Research*, 11(8-10): 1123-1153.

- FANNIN, N. G. T. (1980): The use of regional geological surveys in the North Sea and adjacent areas in the recognition of offshore hazards. In: Arduo, D. A. (Ed.) *Offshore site investigation*: 5-21, Graham & Trotman, Great Britain.
- FERRÍN, A., DOMÍNGUEZ, L., DíEZ, R., GARCÍA-GIL, S., VILAS, F. (2001): High-resolution seismic analysis of shallow gas features: Ría de Arousa (NW Spain). *Resúmenes GSA-GSL Earth System Processes Meeting*, Edimburgo (Escocia): p. 103.
- FLOODGATE, G. D., JUDD, A. G. (1992): The origins of shallow gas. *Continental Shelf Research*, 12(10): 1145-1156.
- GARCÍA-GARCÍA, A., VILAS, F., GARCÍA-GIL, S. (1999): A seeping sea-floor in a ría environment: Ría de Vigo (NW Spain). *Environmental Geology*, 38(4): 296-300.
- GARCÍA-GIL, S., DíEZ, R., DOMÍNGUEZ, L., FERRÍN, A., VILAS, F. (2000a): High resolution seismic analysis of gas accumulations in the internal sector of Ría de Arousa (Galicia, NW Spain). *Resúmenes 3º Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica*, Faro (Portugal): p. 49-50.
- GARCÍA-GIL, S., GARCÍA-GARCÍA, A., DURÁN, R., VILAS, F. (2000b): Estratigrafía sísmica de alta resolución en las Rías Baixas: Pontevedra y Vigo (NO España). *Journal of Iberian Geology*, 26: 217-231.
- GARCÍA-GIL, S., GARCÍA-GARCÍA, A., VILAS, F. (1999a): Identificación sísmico-acústica de las diferentes formas de aparición de gas en la Ría de Vigo (NO de España). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(2): 301-307.
- GARCÍA-GIL, S., RUBIO, B., GARCÍA-GARCÍA, A., VILAS, F. (2001): Las facies holocenas del registro sedimentario de la Ría de Vigo (NO España): influencia antropogénica. *Resúmenes I Congreso Interdisciplinar en Ciencias del Mar: Taller Tertulia en Oceanografía*, Universidade de Vigo (España): p. 8.
- GARCÍA-GIL, S., VILAS, F., MUÑOZ, A., ACOSTA, J., UCHUPI, E. (1999b): Quaternary sedimentation in the Ría de Pontevedra (Galicia), Northwest Spain. *Journal of Coastal Research*, 15(4): 1083-1090.
- HEMPEL, P., SPIEB, V., SCHREIBER, R. (1994): Expulsion of shallow gas in the Skagerrak-Evidence from sub-bottom profiling, seismic, hydroacoustical and geochemical data. *Estuarine and Coastal Shelf Science*, 38: 569-582.
- HOVLAND, M. (1989): Modern analogues to Middle Ordovician sedimentary mounds and washout depressions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 59(4): 585-589.
- HOVLAND, M., JUDD, A. G. (1988): *Seabed pockmarks and seepages (Impact on geology, biology and marine environment)*. 293 p., Graham & Trotman, Great Britain.
- KARISIDDAIAH, S. M., VEERAYYA, M. (1996): Potential distribution of subsurface methane in the sediments of the Eastern Arabian Sea and its possible implications. *Journal of Geophysical Research*, 101(D20): 25.887-25.895.
- KARISIDDAIAH, S. M., VEERAYYA, M., VORA, K. H., WAGLE, B. G. (1993): Gas-charged sediments on the inner continental shelf off western India. *Marine Geology*, 110: 143-152.
- KELLEY, J. T., DICKSON, S. M., BELKNAP, D. F., BARNHARDT, W. A., HENDERSON, M. (1994): Giant sea-bed pockmarks: Evidence for gas escape from Belfast Bay, Maine. *Geology*, 22: 59-62.
- KING, L.H., McLEAN, B. (1970): Pockmarks on the Scotian Shelf. *Bulletin of the Geological Society of America*, 81: 3141-3148.
- MAGARIÑOS-ÁLVAREZ, J., GARCÍA-GIL, S., VILAS, F. (2001): Mapping of shallow gas features in the Ría de Muros-Noia (NW Spain). *Resúmenes GSA-GSL Earth System Processes Meeting*, Edimburgo (Escocia): p. 104.

- MOPT (1992): *Estudio geofísico marino entre las Islas Cíes y el límite con la provincia de La Coruña (Pontevedra)*. Tomo I, 127 p., Ministerio de Obras Públicas y Turismo, Dirección General de Costas.
- PANNEKOEK, A.J. (1966): The Ria problem. *Tidjschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, 83 (3): 289-297.
- PICKRILL, R. A. (1993): Shallow seismic stratigraphy and pockmarks of a hydrothermally influenced lake, Lake Rotoiti, New Zealand. *Sedimentology*, 40: 813-828.
- REY, J. (1993): *Relación morfosedimentaria entre la plataforma continental de Galicia y las Rías Bajas y su evolución durante el Cuaternario*. 233 p., Instituto Español de Oceanografía, Publicaciones Especiales, 17.
- SCHÜLER, F. (1952): Untersuchungen über die mächtigkeit von schlickschichten mit hilfe des echographen. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 5: 220-231.
- SOLHEIM, A., ELVERHOI, A. (1993): Gas-related sea floor craters in the Barents Sea. *Geo-Marine Letters*, 13: 235-243.
- SOMOZA, L., REY, J. (1991): Holocene fan-deltas in a ria morphology. Prograding clinoform types and sea level control. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 15: 37-48.
- TAYLOR, D. I. (1992): Nearshore shallow gas around the U.K. coast. *Continental Shelf Research*, 12(10): 1135-1144.
- WEVER, T. F., FIELDER, H. M. (1995): Variability of acoustic turbidity in Eckernförde Bay (Southwest Baltic Sea) related to the annual temperature cycle. *Marine Geology*, 125: 21-27.
- VILAS, F., NOMBELA, M. A., GARCÍA-GIL, E., GARCÍA-GIL, S., ALEJO, I., RUBIO, B., PAZOS, O. (1995): *Mapa de distribución de los sedimentos del fondo de la Ría de Vigo*. 41 p., Consellería de Pesca, Marisqueo y Acuicultura, Xunta de Galicia.

Recibido / Received : 8/11/01

Aceptado / Accepted: 13/02/02