

IDENTIFICACIÓN SÍSMICO-ACÚSTICA DE LAS DIFERENTES FORMAS DE APARICIÓN DE GAS EN LA RÍA DE VIGO (NO DE ESPAÑA)

S. García-Gil, A. García-García y F. Vilas

Departamento de Geociencias Marinas y Ordenación del Territorio, Facultad de Ciencias, Universidad de Vigo, Apdo 874, 36200-Vigo (Pontevedra), e-mail: sgil@uvigo.es

Resumen: El análisis detallado de perfiles geofísicos de alta resolución (sísmicos, sonar de barrido lateral y ecosonda) ha permitido detectar y caracterizar la presencia de gas en los sedimentos de la Ría de Vigo (NO de España). Las acumulaciones de gas han sido clasificadas en cuatro tipos básicos: apantallamientos acústicos *s. s.*, cortinas acústicas, columnas acústicas y turbidez acústica; mientras que se han establecido tres tipos de evidencias de escape de gas: plumas acústicas, nubes acústicas y *pockmarks*. A lo largo del trabajo se presenta la cartografía de las zonas con algún tipo de acumulación de gas en la Ría de Vigo, y se discute tanto su origen como los posibles factores de control espacial.

Palabras clave: sísmica de alta resolución, acumulaciones de gas, escapes de gas, rías, Galicia.

Abstract: Detailed analysis of geophysical profiles (high-resolution seismic reflection, side-scan sonar and echo-sounder) have permitted detecting and characterizing the gas presence within the sediments of the Ría de Vigo, NW Spain. Gas accumulations have been categorized in four basic patterns: acoustic blanking *s. s.*, acoustic curtains, acoustic columns, acoustic turbidity; whilst three patterns of gas seepings have been established: acoustic plumes, acoustic clouds and *pockmarks*. Finally, the zones with some sort of gas accumulation have been mapped within the Ría de Vigo. Their origin and possible control factors for their spacial distribution are discussed.

Key words: high-resolution seismic profiles, gas accumulations, gas seeps, rías, Galicia.

S. García-Gil, A. García-García y F. Vilas (1999): Identificación sísmico-acústica de las diferentes formas de aparición de gas en la Ría de Vigo (NO de España). *Rev. Soc. Geol. España*, 12 (2): 301-307

Después de las primeras publicaciones de gases en sedimentos marinos (Emery y Hoggan, 1958), diferentes investigadores han estudiado las concentraciones de metano y otros gases en sedimentos marinos someros (Bernard *et al.*, 1978; Hovland y Judd, 1988; Davis, 1992; Uchupi *et al.*, 1996). El gas en el fondo marino puede aparecer en tres formas diferentes (Sills y Wheeler, 1992): 1) en solución, en el agua intersticial; 2) no disuelto, en forma de relleno de huecos; 3) como hidratos de gas (*clathrates*).

El escape de gases y fluidos a través del fondo del mar es un fenómeno de escala mundial, citado en las zonas de dorsal mesoceánicas, márgenes convergentes y plataformas de márgenes pasivos. Al menos que la expulsión de gas a través del fondo del mar esté indicada por el ascenso de burbujas en aguas someras, su localización en el fondo del mar puede ser caracterizada por la presencia de comunidades específicas de organismos bentónicos y principalmente por precipitaciones de carbonatos.

Schüler (1952) fue el primero en mencionar el efecto de enmascaramiento de los sedimentos, en registros de ecosonda de las Bahías de Eckernförde y Kiel (SW Mar Báltico), debido a la presencia de gas libre. Este

efecto, que denominó *basin effect*, es más conocido hoy como "turbidez acústica" (Wever y Fielder, 1995).

Dando *et al.* (1994) estudiaron los efectos debidos a escapes de metano en ambientes intermareales y submareales someros de la costa de Kattegat, en Dinamarca. El agua bombeada desde las zonas de escape estaba enriquecida en fosfatos y amoníaco, hecho que controlaba la composición de la flora y faunas circundantes, así como las características del substrato (areniscas cementadas).

El primer descubrimiento de cráteres del fondo marino atribuidos al escape de gas, localizado debajo de la superficie, fue hecho por King y McLean (1970) en la Scotian Shelf (costa SE de Canadá). Se propuso el término *pockmark* para denominar tales formas. A partir de ese momento, se encontraron *pockmarks* en otras muchas áreas incluyendo: Mar del Norte (Bøe *et al.*, 1998), Talud Continental del Golfo de Guinea (Cayocca *et al.*, 1998), Estrecho de Ormuz (Driscoll y Uchupi, 1997), Bahía de Belfast (Kelley *et al.*, 1994), Mar de Barents (Solheim y Elverhoi, 1993), etc. En un principio fueron considerados meras curiosidades geológicas, pero su asociación con depósitos de hidrocarburos confirmaron su utilidad como herramientas de exploración.

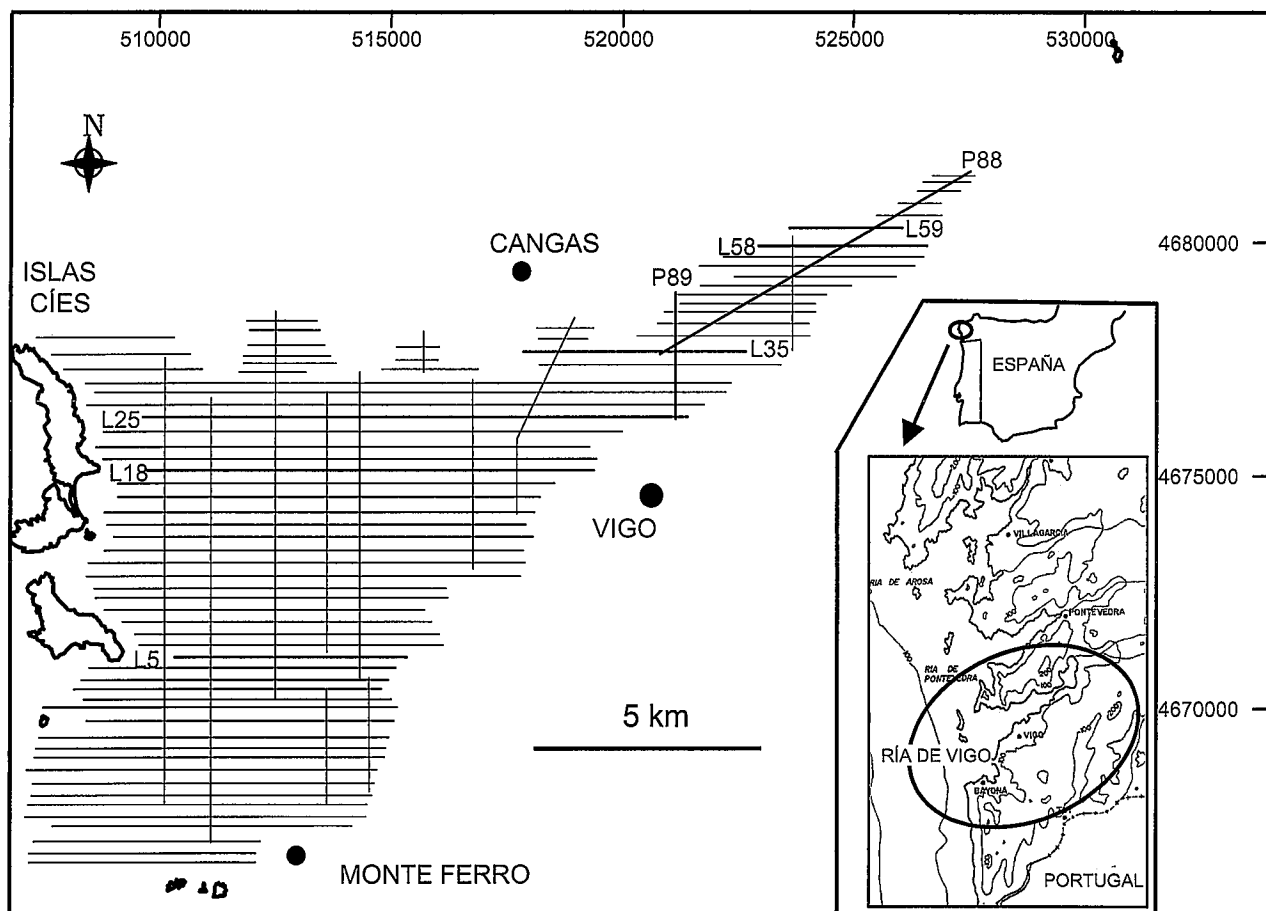


Figura 1.- Localización geográfica y situación de los perfiles sísmicos de alta resolución.

La detección de sedimentos infrayacentes cargados de gas se realiza a menudo mediante métodos sísmicos de alta resolución. Los perfiles de reflexión sísmica muestran las zonas cargadas de gas como áreas difusas de reflexiones incoherentes. Los límites de estos sedimentos con gas se caracterizan por ser áreas circundantes donde la penetración y la resolución son normales (ventanas acústicas). El gas presente en los sedimentos dispersa o atenúa la energía acústica, limitando la penetración. Este efecto es denominado en ocasiones como apantallamiento acústico (*gas blanking*, *acoustic turbidity*, *acoustic masking*, Hovland y Judd, 1988).

Múltiples artículos han descrito igualmente la presencia de gas en zonas costeras, como bahías o estuarios, de todo el mundo (Fader, 1991; Hempel *et al.*, 1994; Hovland y Judd, 1988; Karisiddaiah *et al.*, 1993; Kelley *et al.*, 1994; Pickrill, 1993).

A lo largo del margen continental español también se ha detectado la presencia de gas somero en sedimentos del talud del Golfo de Cádiz (Ercilla y Baraza, 1996), en las Rías de Muros y Noia (Acosta, 1982), y en la Ría de Vigo (García-Gil *et al.*, 1997b).

En este trabajo se pretende realizar una caracterización detallada de las diferentes formas, tanto de acumulación como de escapes de gas, basada en las evidencias presentes en los registros geofísicos de alta resolución.

Marco de referencia

La Ría de Vigo ocupa la posición más meridional dentro de las Rías Baixas, con una orientación de su eje mayor según la dirección N75°E (Fig. 1). Tiene forma de embudo en planta con 164 km² de superficie, 33 km de longitud y una anchura variable, que para su boca es de 10 km, estrechándose progresivamente hacia la cola.

Desde el punto de vista geológico, la costa de Galicia se sitúa dentro del cinturón orogénico hercínico. En la región de la Ría de Vigo, se distinguen varios dominios geotectónicos sobre los que se suponen varios fenómenos de deformación y metamorfismo, que han dado como resultado un substrato rocoso formado principalmente por rocas graníticas y metamórficas (meta-sedimentos). A estas últimas se les atribuyen edades comprendidas entre el Precámbrico y el Silúrico, mientras que el emplazamiento de masas graníticas tuvo lugar a lo largo del ciclo hercínico, durante y con posterioridad a las fases de deformación, originando en algunos casos metamorfismo de contacto. La tectónica posthercínica se caracteriza por la generación de importantes sistemas de fracturación que siguen lineaciones SO-NE, N-S y ONO-ESE. Algunas de estas fracturas fueron reactivadas durante el Mioceno-Plioceno produciendo basculamientos de bloques. Estos movi-

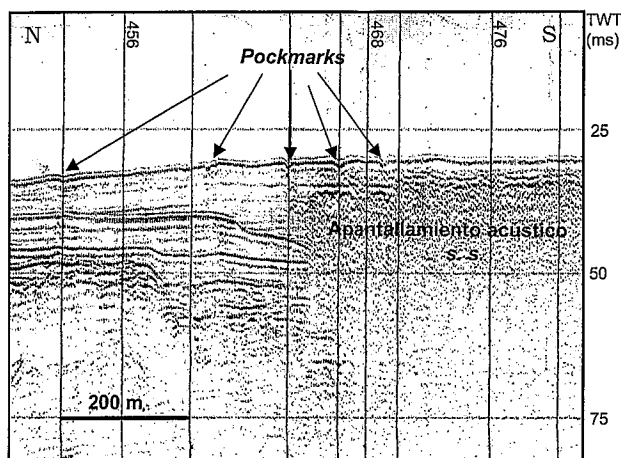


Figura 2.- Acumulación de gas tipo apantallamiento acústico s. s. y escapes del tipo *pockmarks* en la superficie del fondo. Perfil sísmico (L-58/59) de alta resolución Uniboom (300 J).

mientos pueden haberse extendido hasta el Cuaternario (Pannekoek, 1966; De Aguirre y Butzer, 1967; Pazos *et al.* 1994; García-Gil, *et al.*, en prensa).

A partir del estudio de los perfiles sísmicos se observa que el basamento de la zona cubierta por la Ría también está constituido por rocas graníticas y rocas metamórficas. En ambos casos, carecen de reflectores internos continuos pero mientras que las rocas graníticas dan topografías abruptas, las rocas metamórficas presentan morfologías más suaves, mostrando en su parte superior una cierta continuidad en los reflectores debido posiblemente a su carácter metasedentario.

Los datos previos sobre la edad de los sedimentos de la Ría de Vigo son muy escasos. Una de las primeras contribuciones a este respecto se debe a Margalef (1956), quien propuso que la sedimentación marina más reciente se inició hace aproximadamente 8 ka tras un descenso del nivel del mar de 25 a 29 m. García-Gil *et al.* (1997a), partiendo de datos de registros sísmicos y del estudio de estratigrafía secuencial, proponen un modelo de curva de variación eustática para el registro sedimentario de los últimos 130 ka y plantean la hipótesis de que la unidad sedimentaria más reciente corresponde al registro de los últimos 11 ka, momento en el que se produjo un descenso eustático global (*Younger Dryas*).

Metodología

En el presente estudio describimos nuevos datos sobre el registro sedimentario de la Ría de Vigo. Se han utilizado un total de 640 km de perfiles de sísmica de reflexión, perfilador de fondos, ecosonda y sonar de barrido lateral siguiendo una malla de 66 X 550 m. (Fig. 1). Los datos de sísmica de reflexión fueron obtenidos con un EG&G Uniboom Modelo 230 (300 J), con una cadencia de 4 disparos por segundo. El perfilador de fondos empleado fue el modelo 1036 O.R.E. (3.5 KHz). Los perfiles de ecosonda se realizaron con el

modelo Atlas Deso 20 (33-210 KHz). Los registros de sonar de barrido lateral se obtuvieron con el modelo Klein 595 (100 KHz, 3 canales), con una cobertura lateral de 150 m.

Para la navegación y posicionamiento se utilizó un GPS diferencial, Trimble 4000 RL combinado con una unidad de Trisponder.

Evidencias de acumulación de gas en sedimentos

La presencia de acumulaciones de gas en los sedimentos del relleno de la Ría de Vigo es claramente detectable a partir de los perfiles sísmicos de alta resolución. Cuando este gas se encuentra en niveles más superficiales, puede llegar a ser identificado en los registros del perfilador de fondos.

Las acumulaciones de gas presentes en la Ría de Vigo han sido clasificadas en diferentes tipos, basándonos principalmente en los caracteres de sus respuestas sísmicas, geometrías y dimensiones. Según estas características, establecemos los tipos que a continuación se detallan:

Apantallamientos acústicos s.s.: Es el tipo de acumulación de gas más frecuente en la Ría de Vigo. Se identifica por el enmascaramiento total del registro sísmico infrayacente, hecho que no permite establecer la conexión con la fuente generadora de gas (Fig. 2).

El límite superior de este tipo de acumulación se marca por la presencia de un reflector con geometría generalmente plana, que en detalle da una reflexión difusa. La extensión lateral media de la acumulación es de unos 850 m, con límites laterales también difusos. Estos apantallamientos acústicos s. s. serían comparables a los *blankets* de Taylor (1992) y a los *acoustic blanking* o *acoustic masking* de Hovland y Judd (1988).

Cortinas acústicas: Son bastante frecuentes en la

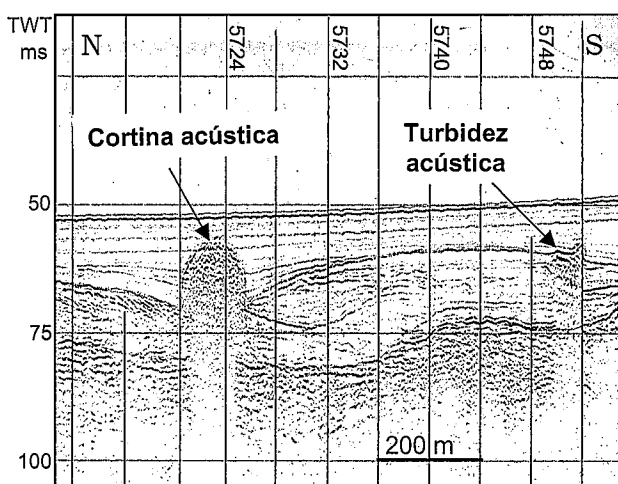


Figura 3.- Acumulaciones de gas de los tipos turbidez acústica y cortina acústica. Perfil sísmico (L-18) de alta resolución Uniboom (300 J). Anotaciones de disparos cada 200 m.

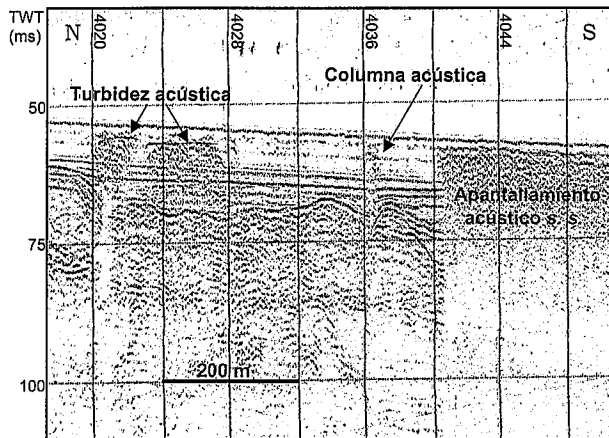


Figura 4.- Acumulaciones de gas de los tipos turbidez acústica y columna acústica. Perfil sísmico (L-35) de alta resolución Uniboom (300 J). También se observa un apantallamiento s. s.

Ría. Al igual que el tipo anterior, se observa un enmascaramiento total del registro infrayacente, sin ser posible el establecimiento de la conexión con la posible fuente del gas. Es característica la geometría convexa de su parte superior, que se marca por la existencia de una fuerte reflexión acompañada por inversión de fase. (Fig. 3). Su extensión lateral media es de 200 m. Este tipo de acumulación es semejante, en cuanto a forma y dimensiones, a los *curtains* de Taylor (1992) o a los *mushroom type* de Karisiddaiah *et al.* (1993).

Columnas acústicas: Se identifican como perturbaciones verticales en los registros sísmicos, que en ocasiones aparecen como zonas totalmente transparentes. Su límite superior se marca por una reflexión bastante fuerte acompañada por inversión. En este caso es posible establecer la conexión con el nivel generador de gas. Es característica su aparición en las proximidades de los apantallamientos acústicos y cortinas (Fig. 4).

Hovland y Judd (1988) citan las *transparent columnar perturbances* como originadas por la migración de fluidos, probablemente gas.

Turbidez acústica: Esta acumulación de gas origina una mayor o menor perturbación del registro sísmico; siendo posible en ocasiones continuar los reflectores a través de la acumulación (Fig. 4). No es posible establecer la fuente generadora del gas. El origen de esta acumulación se explica como un efecto debido al *scattering* de la energía acústica que genera una sombra oscura en los registros. Según Fannin (1980), con un 1% de gas en el sedimento puede producirse este efecto.

Evidencias de escapes de gas

La evidencia directa sobre la existencia de escapes de gas, consistente en la observación de un ascenso de burbujas a través de la columna de agua, ha sido relatada por pescadores de la Ría de Vigo, que indican que «hay veces que el agua hierve».

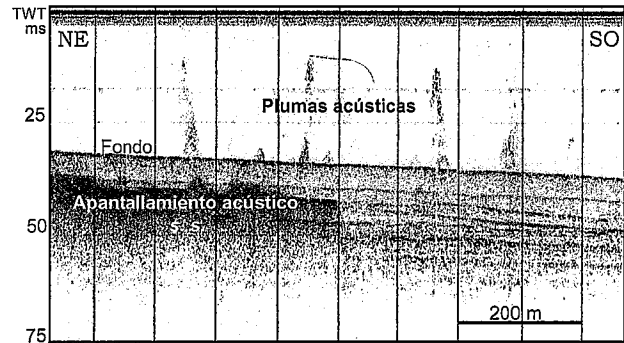


Figura 5.- Acumulación de gas del tipo apantallamiento acústico s.s. y escapes de gas asociados del tipo pluma acústica. Perfil P-88. Perfilador de fondos O.R.E. (3,5 KHz). Anotaciones de disparos cada 200 m.

En el presente estudio, mediante diversos métodos indirectos (sísmica de reflexión de alta resolución, sonar de barrido lateral y ecosonda), hemos encontrado diferentes evidencias de escapes de gas, a través de la superficie de los sedimentos del fondo y de la columna de agua. Estas se agrupan en los tipos que se detallan a continuación:

Plumas acústicas: La sísmica de alta resolución (perfilador de fondos, 3,5 KHz) y la ecosonda se han revelado como los mejores métodos para la detección de este tipo de escapes de gas en la Ría de Vigo.

En ambos registros se marca su existencia por la aparición de una turbidez acústica con forma de «pluma» ascendente, a través de la columna de agua, desde la superficie del fondo (Figs. 5, 6). Llegan a elevarse hasta 15 m de altura en la columna de agua. En ocasiones son formas individuales, y en otras, aparecen en alta densidad, formando campos de plumas.

En los registros de perfilador es frecuente apreciar, por debajo de la superficie, algún tipo de acumulación y/o escape de gas asociada (apantallamientos acústicos s. s., turbidez acústica, etc.), siendo estos su fuente generadora (Fig. 5).

Hay que hacer notar que Taylor (1992) aplica el término *plume* a un tipo de acumulación de gas no observado en nuestra zona de trabajo; en el presente estudio dicho término se reserva para denotar una evidencia de escape de gas.

Nubes acústicas: Es un tipo de evidencia de escape detectable, tanto en registros de Uniboom (300J) como en los de ecosonda, por la presencia de zonas más oscuras dentro del registro de la columna de agua (Fig. 7). No muestran ninguna geometría característica, pero siempre están relacionadas con zonas de acumulación y/o escapes de gas en los sedimentos infrayacentes a la superficie del fondo.

Su presencia se explica como debida a la resuspensión del material de la interfase agua-sedimento provocada por el escape del gas.

Pockmarks: La evidencia morfológica de expulsión de fluidos someros es la presencia de depresiones loca-

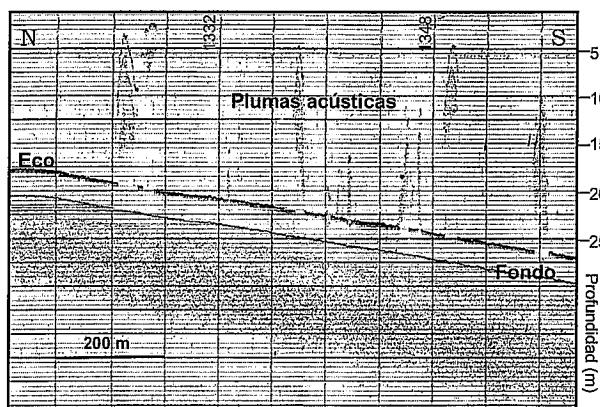


Figura 6.- Escapes de gas en la columna de agua del tipo plumas acústicas. Perfil P-89. Registro de ecosonda Atlas Deso. Anotaciones de disparos cada 400 m.

les en forma de cráter en la superficie del fondo. Estas formas debidas al escape de gas son claramente detectables en los registros de sonar de barrido lateral donde aparecen como pequeñas manchas muy oscuras (alta reflectividad) y de geometría entre circular y ovalada (Fig. 8), que Hovland (1989) denomina *eyed-pockmarks*. Los *pockmarks* de la Ría de Vigo tienen unas dimensiones muy semejantes entre sí, 6.83 m x 4.62 m en planta, y de 2-3 m en profundidad.

Los *pockmarks*, en los registros de ecosonda (Fig.9) y perfilador de fondos, muestran una sección vertical en forma de «V» sobre la superficie del fondo. Esta geometría también es observable en los registros sísmicos de Uniboom (Fig. 2). En ciertos registros de la Ría de Vigo, además de los *pockmarks* recientes, se pueden apreciar *pockmarks* fósiles (depresiones en forma de «V», semejantes a las del fondo actual, pero afectando a reflectores infrayacentes).

Hemos conservado el término original de *pockmark* (King y McLean, 1970) ya que a partir de su descubrimiento, la utilización del mismo está totalmente generalizada. La teoría de formación de estas depresiones sugerida por King y McLean (1970) ha sido confirmada y elaborada sobre todo por Hovland y Judd (1988) qui-

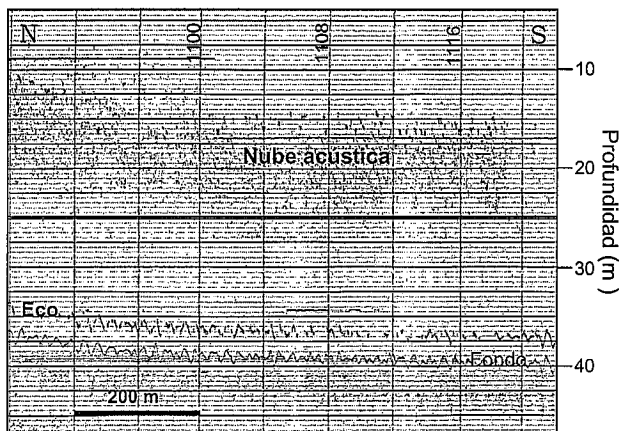


Figura 7.- Escapes de gas en la columna de agua del tipo nube acústica. Línea L-5. Registro de ecosonda Atlas Deso. Anotaciones de disparos cada 200 m.

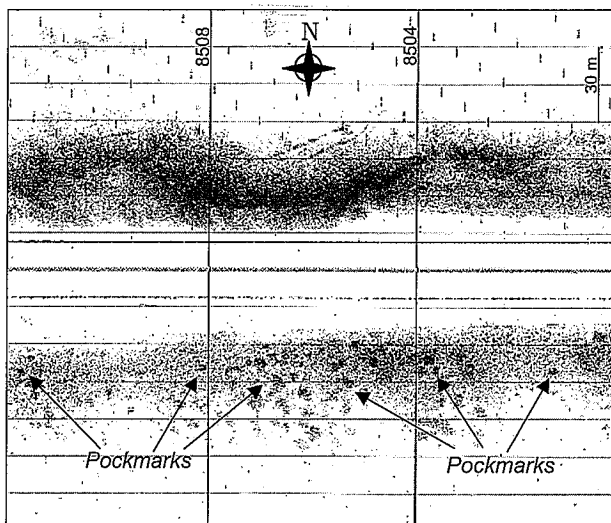


Figura 8.- Campo de *pockmarks* en la superficie del fondo actual de la Ría de Vigo. Perfil L-25. Registro de sonar de barrido lateral Klein 595 (100 KHz). Marcas de disparos cada 100 m. Cobertura lateral de 150 m por banda; líneas horizontales de escala cada 15 m.

nes consideran evidente el escape de fluidos en la formación del *pockmark*, y añaden que, en la mayoría de los casos, este fluido es gas.

El tamaño, forma y distribución de los *pockmarks* está controlado por el tamaño del reservorio, la textura del sedimento, las corrientes y los caminos de los escapes (Pickrill, 1993). Este autor distingue cinco tipos de *pockmarks*, y muchos de ellos se pueden encontrar en la Ría de Vigo (nuevo, persistente, relicto, etc).

Discusión y conclusiones

Se han cartografiado las zonas con alguno de los tipos de acumulación de gas caracterizados en este estudio. El mapa resultante revela que éstas se concentran en dos campos preferentes: el campo A, en la parte media-interior de la Ría de Vigo, y el campo B, en la parte media-externa (Fig. 10).

Ambos campos muestran diferencias y similitudes entre sí: el campo A ocupa una superficie de unos 7,5 km², mientras que el campo B cubre unos 4 km².

En el campo A las acumulaciones de gas se registran en niveles sedimentarios bastante someros, entre 0 y 7 m debajo de la superficie del fondo actual, mientras que en el campo B, aparecen en niveles más profundos, entre 4 y 11 m.

Comparando la localización de ambos campos de gas (A y B) con el mapa de distribución de sedimentos superficiales de la Ría de Vigo (Vilas *et al.*, 1995), se observa una coincidencia entre las zonas con gas y los dominios de sedimentos superficiales más finos (fangos). Además, los campos de gas coinciden igualmente con las áreas de mayores concentraciones actuales de materia orgánica en la Ría de Vigo, entre 4-10 % (Vilas *et al.*, 1995). Concretamente, las zonas donde la acumulación de gas es más somera (entre 0 y 3 m de pro-

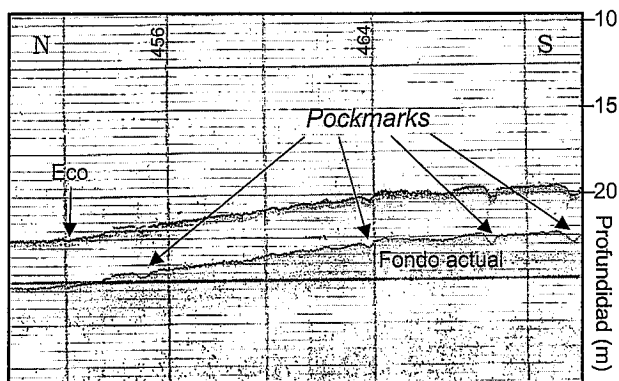


Figura 9.- Pockmarks en la superficie actual del fondo de la Ría de Vigo. Líneas L-58/59. Registro de ecosonda Atlas Deso. Anotaciones de disparos cada 200 m.

fundidad desde el fondo) se corresponde con los dominios superficiales donde el contenido en materia orgánica es superior al 6%. Acosta (1982) indica el valor del 7% de contenido en materia orgánica como umbral mínimo de generación de apantallamientos acústicos *s. l.*

Según Floodgate y Judd (1992), los dos tipos de metano a partir de materia orgánica son el metano biogénico, derivado de la actividad bacteriana en sedimentos someros, y el metano termogénico que se origina a mayores profundidades y temperaturas dentro de rocas sedimentarias (alteración térmica).

Por el momento se carecen de análisis que permitan establecer la naturaleza del gas presente en los sedimentos de la Ría de Vigo. Sin embargo, los gases concentrados en sedimentos marinos someros a escala mundial incluyen dióxido de carbono, anhídrido sulfúrico, etano y metano. No obstante, el único gas encontrado en sedimentos, en cantidades considerables y dando acumulaciones extensas, es el metano.

De acuerdo con todos los datos expuestos, parece bastante probable que el gas presente en los sedimentos de la Ría de Vigo sea metano procedente de la descomposición bacteriana de materia orgánica contenida en los mismos, aunque sin descartar otras fuentes tales como la termal y/o radón relacionado con el basamento granítico. Esta materia orgánica quedaría recubierta posteriormente por materiales finos representados por la unidad sísmica holocena más reciente del relleno sedimentario de la Ría de Vigo (García-Gil *et al.*, 1997a), que actuaría a manera de sello del gas biogénico generado.

Dentro de cada campo de gas, A y B, se aprecia una distribución espacial (casi concéntrica) de los tipos de acumulación y escapes de gas consistente en: 1º) los apantallamientos acústicos *s. s.* ocupan las partes centrales de los campos, 2º) las acumulaciones tipo cortina acústica rodean a los anteriores, 3º) a continuación, suelen aparecer las acumulaciones de tipos columna y turbidez acústicas y 4º) en la zona más externa se localizan las áreas con evidencias de escapes (plumas, nubes y pockmarks).

Las distintas formas de acumulación de gas descritas podrían estar relacionadas con el porcentaje de gas contenido en los sedimentos, siendo mayor en los apantallamientos acústicos *s. s.* y cortinas acústicas, que en los otros tipos de acumulaciones.

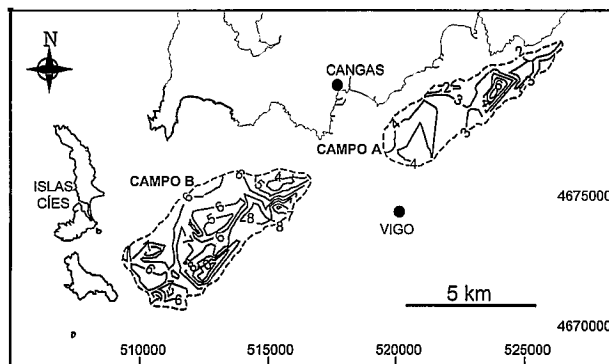


Figura 10.- Cartografía de las zonas con acumulaciones de gas en la Ría de Vigo. Las isopacas reflejan la potencia de sedimentos existentes por encima del gas acumulado en profundidad.

tallamientos acústicos *s. s.* y cortinas acústicas, que en los otros tipos de acumulaciones.

El hecho de que este gas se acumule o escape vendría controlado por la efectividad del sello suprayacente, apuntándose, por consiguiente, la importancia de las facies sedimentarias como factor de control, tanto vertical como lateral, de la presencia de gas en la Ría de Vigo.

Los autores quieren mostrar su agradecimiento a la Fundación PROVIGO por el financiamiento de una estancia de investigación y al MOPT por la aportación de diversos registros. Este trabajo es una contribución a los proyectos MAR 95-1953, y IGCP nº 396.

Bibliografía

- Acosta, J. (1982): Apantallamientos acústicos en la ría de Muros y Noya y el Margen Continental de Cádiz. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* T. VIII, 341: 125-149.
- Bernard, B. B., Brooks, J. M. y Sackett, W. M. (1978): Light hydrocarbons in recent Texas shelf and slope sediments. *J. Geophys. Res.*, 83: 4053-4061.
- Bøe, R., Rise, L. y Ottensen, D. (1998): Elongate depressions on the southern slope of the Norwegian Trench (Skagerrak): morphology and evolution. *Mar. Geol.*, 146: 191-203.
- Cayocca, F., Cochonat, P., Bourillet, J.-F. y Quéméneur, P. (1998): Submarine slope failure related to fluid migration processes (Continental Slope of Gulf of Guinea). *STRATCON: Strata and Sequences on Shelves and Slopes*, SEPM-IAS Research Conference, Abstracts.
- Dando, P. R., Jensen, P., O'Hara, S. C. M., Niven, S. J., Schmaljohann, R., Schuster, Ü. y Taylor, L. J. (1994): The effects of methane seepage at an intertidal/shallow subtidal site on the shore of the Kattegat, Vendsyssel, Denmark. *Bull. Geol. Soc. Denmark*, 41: 65-79.
- Davis, A.M. (Ed.) (1992): Methane in Marine Sediments. *Cont. Shelf Res.*, 12 (10), 176 p.
- De Aguirre, E. y Butzer, K. (1967): Problematical Pleistocene artifact assemblages from northwestern Spain. *Science*, 157: 430-431.
- Driscoll, N. y Uchupi, E. (1997): The importance of gas and groundwater seepage in landscape and seascape evolution.

- Thalassas*, 13: 355-448.
- Emery, K. O. y Hogan, D. (1958): Gases in marine sediments. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 42: 2174-2188.
- Ercilla, G., y 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. *Cont. Shelf Res.*, 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. *Offshore Site Investigation*, (Ardus, D.A., Ed.), Graham and Trotman, London, 5-21.
- Floodgate, G. D. y Judd, A. D. (1992): The origins of shallow gas. *Cont. Shelf Res.*, 12 (10): 1145-1156.
- García-Gil, S., Francés, G., García-García, A., Diz, P. y Vilas, F. (1997a): Implicaciones de las variaciones relativas del nivel del mar en el relleno sedimentario de la Ría de Vigo (NW España). 2º *Simp. sobre el Margen Continental Ibérico Atlántico*, Abstracts: 141-142.
- García-Gil, S., García-García, A. y Vilas, F. (1997b): Presencia de gas somero en la Ría de Vigo (NW España). 2º *Simp. sobre el Margen Continental Ibérico Atlántico*, Abstracts: 197-198.
- García-Gil, S., Vilas, F., Muñoz, A., Acosta, J. y Uchupi, E. (en prensa): Quaternary sedimentation in the Ría de Pontevedra (Galicia), Northwest Spain. *Jour. Coastal Res.*
- Hempel, P., Spieß y Schreiber, R. (1994): Expulsion of shallow gas in the Skagerrak- Evidence from sub-bottom profiling, seismic, hydroacoustical and geochemical data. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 38: 583-601.
- Hovland, M. (1989): Modern analogues to middle ordovician sedimentary mounds and washout depressions. *Jour. Sed. Petrol.*, 59 (4) : 585-589.
- Hovland, M. y Judd, A.G. (1988): *Seabed Pockmarks and Seepages (Impact on Geology, Biology and the Marine Environment)*. Graham & Trotman, Great Britain, 293 p.
- Karisiddaiah, S.M., Veerayya, M., Vora, K.H. y Wagle, B.G. (1993): Gas-charged sediments on the inner continental shelf off western India. *Mar. Geol.*, 110: 143-152.
- Kelley, J.T., Dickson, S.M., Belknap, D.F., Barnhardt, W.A. y Henderson, M. (1994): Giant sea-bed pockmarks: Evidence for gas escape from Belfast Bay, Maine. *Geology*, 22: 59-62.
- King, L.H. y MacLean, B. (1970): Pockmarks on the Scotian Shelf. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 81: 3141-3148.
- Margalef, R. (1956): Paleoecología postglacial de la Ría de Vigo. *Inv. Pesq.*, V: 89-112.
- Pannekoek, A.J. (1966): The ria problem. *Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen.*, 83: 289-297.
- Pazos, O., Vilas, F., García-Gil, S., Nombela, M.A., Alejo, I., Rubio, B. y Rey, D. (1994): Holocene tectonic movements in the west coast of Galicia, Spain. *Symp. Littoral*, 94: 26-29.
- Pickrill, R.A. (1993): Shallow seismic stratigraphy and pockmarks of a hydrothermally influenced lake, Lake Rotoiti, New Zealand. *Sedimentology*, 40: 813-828.
- Schüler, F. (1952): Untersuchungen über die Mächtigkeit von Schlickschichten mit Hilfe des Echographen. *Dtsch. Hydrogr. Z.*, 5: 220-231.
- Sills, G. C. y Wheeler, S. J. (1992): The significance of gas for offshore operations. *Cont. Shelf Res.*, 12: 1239-1250.
- Solheim, A. y Elverhoi, A. (1993): Gas-related sea floor craters in the Barents Sea: gas from a petrogenic source?. *Polar Res.*, 3: 11-19.
- Taylor, D. I. (1992): Nearshore shallow gas around the UK coast. *Cont. Shelf Res.*, 12: 1135-1144.
- Uchupi, E., Swift, S.A. y Ross, D.A. (1996): Gas venting and late Quaternary sedimentation in the Persian (Arabian) Gulf. *Mar. Geol.*, 129 : 237-269.
- Vilas, F., Nombela, M.A., García-Gil, E., García-Gil, S., Alejo, I., Rubio, B. y Pazos, O. (1995): Mapa de distribución de los sedimentos del fondo de la Ría de Vigo. *Consellería de Pesca, Marisqueo y Acuicultura, Xunta de Galicia*, 41 p.
- Wever, T.F. y Fielder, H.M. (1995): Variability of acoustic turbidity in Eckernförde Bay (southwest Baltic Sea) related to the annual temperature cycle. *Mar. Geol.*, 125: 21-27.

Manuscrito recibido el 5 de Junio de 1998

Aceptado el manuscrito revisado el 6 de Abril de 1999