

Recursos minerales marinos en las rías gallegas y en la plataforma continental adyacente

Mineral marine resources in the galician coast and its adjoining continental shelf

G. MÉNDEZ, D. REY, A. M. BERNABEU, F. MANSO Y F. VILAS

Dpto. de Xeociencias Mariñas e Ordenación do Territorio, Universidade de Vigo, 36200 Vigo.

RESUMEN

La riqueza natural de las rías gallegas y de su plataforma adyacente no se restringe exclusivamente a las pesquerías. Los recursos minerales marinos, entre los que se encuentran los áridos, placeres, sal marina, fosforitas, hidrocarburos e hidratos de gas poseen un interés económico intrínseco muy importante. Aunque las explotaciones de sal marina tuvieron importancia histórica en Galicia, en la actualidad el aprovechamiento económico de los recursos minerales marinos se limita a los áridos empleados en la regeneración de playas. Una compleja interacción de factores jurídicos, tecnológicos y económicos ha inhibido hasta ahora el desarrollo de otros recursos. Sin embargo, el nuevo orden político y económico internacional proporciona un escenario muy distinto que facilita su explotación. Sensibles a este cambio, las instituciones responsables han impulsado el desarrollo de programas de evaluación de algunos de estos recursos, cuyos resultados se exponen aquí. Este es el caso de los hidrocarburos, de interés energético estratégico, o de los placeres cuyo interés se basa en la presencia de ciertos metales y tierras raras empleados en los nuevos materiales. En este sentido es deseable que en los próximos años se considere también la evaluación de recursos energéticos alternativos como los hidratos de gas, o de otros que como las fosforitas, poseen un interés estratégico especial para la creciente demanda de fertilizantes que anticipa la racionalización del sector agropecuario en la región. Sólo una completa evaluación del potencial económico de

todos los recursos minerales marinos en Galicia permitirá planificar una política de desarrollo sostenido adecuada.

Palabras clave: Rías Gallegas, Recursos Minerales Marinos, Áridos, Placers, Fosforitas, Sal Marina, Hidrocarburos, Gases Hidratados.

ABSTRACT

The natural wealth of the Galician rias and adjoining platform is not constrained to their well know fisheries. Their marine mineral resources, such as aggregates, placers, marine salt, phosphorites, hydrocarbons and gas hydrates, also have very significant intrinsic economic value. Despite a number of marine salt exploitations of historical relevance, the economic importance of marine mineral mining in Galicia, at present day, is limited to aggregates for beach renourishment. A complex interaction of legal, technological and economical factors has inhibited the development of other resources. However, the new international political and economical order has provided a very different scenario that favours their exploitation. Sensitive to this change, the relevant institutions have put in place evaluation programs for some of these resources, whose results will be shown here. This is the case of hydrocarbons, of strategic energy interest, or placers a source of metals and rare-earth elements for the new materials industry. In this sense it is desirable that alternative energy resources like gas hydrates, or strategically interesting resources for agriculture like phosphorites will be adequately evaluated in the next few years. Only a complete evaluation of the true economical importance of all the marine mineral resources in Galicia will allow adequate long-term planning of successful sustained development policies.

Keywords: Galician Rias, Marine Mineral Resources, Aggregates, Placers, Phosphorites, Marine Salt, Hydrocarbons, Gas Hydrates.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo pretende realizar una revisión detallada de los recursos minerales marinos presentes en las rías y en la plataforma gallegas, así como de su proyección económica a medio y largo plazo. Aunque no se trata de un trabajo de investigación científica en su sentido más estricto, consideramos que la perspectiva que se ofrece en este volumen de Cuadernos de Geología Ibérica dedicado a la geología de las rías gallegas estaría de algún modo incompleta sin una valoración de la importancia económica actual y potencial de sus recursos geológicos. Es este un tema que atañe al aprovechamiento de la riqueza geológica natural de nuestro país, y como tal, de notable trascendencia social. A pesar de ello, este es uno de los primeros trabajos que se ocupan de valorar de forma general los recursos minerales marinos de una zona de nuestra costa, consideran-

do también la Zona de Exclusividad Económica. Esperamos así poder explicar no sólo la proyección económica de nuestro esfuerzo investigador, si no en un sentido más amplio, el de la oceanografía geológica, aportando una información que contribuya a que las distintas administraciones puedan planificar adecuadamente la gestión de nuestras riquezas naturales.

Es difícil, sin embargo, plantear un trabajo de revisión de los recursos minerales marinos de una zona sin explicar antes en qué consisten y cuál es su interés económico. Lo que en la actualidad consideramos como recursos minerales marinos integra en sí mismo los conceptos de reserva y recurso. La definición más ampliamente aceptada fue planteada por Archer (1987) quien propuso que los recursos minerales marinos deberían definirse como aquellos yacimientos minerales submarinos que son económicamente viables en la actualidad, o que muy posiblemente sean económicamente viables en los próximos 20 o 30 años. Basándonos en esto, los áridos, los placeres de minerales pesados y preciosos, los corales preciosos y los cortejos minerales asociados a la halita en la sal común, pueden considerarse como recursos minerales marinos, ya que en la actualidad están en explotación. Así mismo, los nódulos de manganeso, las costras de cobalto, los yacimientos hidrotermales, las fosforitas y los hidratos de gas también se calificarían como tales.

En términos generales, y a escala mundial, los recursos minerales marinos, entre los que se encuentran los áridos, placeres, sal, fosforitas, hidrocarburos e hidratos de gas, existentes en la zona económica exclusiva correspondientes a la costa gallega, poseen un interés económico intrínseco muy importante. A pesar de ello, en la mayoría de los casos, su aprovechamiento económico todavía no se ha desarrollado más que en una pequeña parte de su verdadero potencial. Esto se debe fundamentalmente a una combinación de factores de índole jurídico, tecnológico, e inherentes a la propia naturaleza de los mercados de materias primas, que han bloqueado su desarrollo, pero que también han experimentado un cambio profundo durante la última década.

Entre los primeros factores se encuentra la incertidumbre legal que, hasta hace unos años, ha impedido el desarrollo de actividades extractivas en los distintos espacios marítimos bajo jurisdicción española, tanto en lo que se refiere a sus contenidos, como al ámbito de aplicación geográfica de la misma. La legislación actual, que se articula bajo una perspectiva conservacionista del uso y gestión del litoral (Ley 22/1988 de 23 de julio, Costas), constituye un instrumento adecuado para el desarrollo de una actividad minera racional, minimizando el impacto que pudiese producir sobre otros recursos mejor establecidos, como las pesquerías o el turismo. En ella se recogen también las normativas dictadas por la Unión Europea, como la Directiva 85/337/CEE, del Consejo, del 27 de junio de 1985, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, tras puesta mediante el Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental y desarrollada mediante el correspondiente reglamento (Real Decreto 1131/1988 de 30 de septiembre), o como las derivadas

de los tratados internacionales suscritos por las autoridades competentes. En particular, debemos destacar la relativamente reciente firma (4/12/84) del acuerdo internacional sobre la Convención de la Ley del Mar implementado por las Naciones Unidas en 1996, y bajo el que se reconoce total soberanía de los estados ribereños sobre los derechos de exploración y explotación de todos los recursos minerales del fondo y subsuelo marino que se encuentren en su Zona Económica Exclusiva (200 millas náuticas).

Por otro lado, el grado de desarrollo actual de la tecnología marina, principalmente como consecuencia de más de 50 años de prospecciones y explotaciones petrolíferas *offshore* y de la exploración submarina desarrollada durante la denominada Guerra Fría, crea unas expectativas razonables para la explotación de los yacimientos minerales situados en las zonas menos accesibles de la Tierra, como son los océanos.

Por último, la situación deprimida del mercado de minerales metálicos debida a los siguientes factores: a) las inestables condiciones políticas que han atravesado gran parte de los países productores durante la segunda mitad de los 80 y la primera mitad de los 90, b) la revolución tecnológica, que implica la búsqueda y estabilización de nuevas materias primas, que sustituyen a las empleadas en las industrias anteriores, y c) los programas de diversificación y conservación energética, como el reciclaje de materias primas en los países industrializados que han suplido en una parte importante las prospecciones de nuevos yacimientos.

Sin embargo, esta transformación tecnológica y la expansión de las economías de mercado en el nuevo orden mundial han intensificado el comercio internacional. El crecimiento demográfico, en el que previsiblemente alcanzaremos los 8200 millones de personas en el año 2020, y la demanda creciente de energía y materias primas en los países de economías emergentes, hacen dudar que la situación actual se sostenga durante mucho tiempo. Los gobiernos del mundo se enfrentarán en los próximos años a la tarea formidable de gestionar adecuadamente los recursos minerales marinos, empezando por aquellos que se encuentran en sus plataformas continentales.

La plataforma y el litoral gallego no son ajenos a este cambio de actitud en los mercados. Las investigaciones marinas, como veremos a continuación, ya han comenzado, orientadas hacia una explotación sostenida de sus recursos, incluido el turismo, y a una búsqueda de materias primas que satisfagan la demanda de nuevos materiales que generan las nuevas tecnologías.

LOS ÁRIDOS MARINOS

Los áridos forman parte de lo que se denominan Minerales Industriales, y representan una parte importante de los materiales que se utilizan en construcción. Se definen formalmente como los fragmentos de roca (clastos) que, cementados o no, pueden entrar a formar parte de una construcción urbanística, ar-

quitectónica o de una obra de ingeniería civil. Las fuentes principales de áridos son: rocas fragmentadas y/o molidas mecánicamente, materiales reciclados de los productos de desecho en construcción y minería, y los depósitos sedimentarios no metálicos formados por arenas y gravas (siliciclásticos) o por carbonatos bioclásticos (conchas y corales) asociados a las playas y a la plataforma interna, o a cursos fluviales actuales.

La producción de áridos es el negocio más grande del mundo después de los hidrocarburos, y son los depósitos minerales *offshore* cuantitativamente más importantes. En el mar, su extracción es rentable por encima de los 35 m. Algunos países industrializados del norte de Europa y también Japón, han encontrado en los áridos de origen marino un recurso importante que sustituye a sus extenuadas reservas en tierra. Valga decir que en el Reino Unido se produjeron 10 millones de toneladas de este tipo de áridos en 1990, el 30% de todos los extraídos en depósitos sedimentarios no consolidados según datos del British Geological Survey. En zonas densamente pobladas, como Londres, este porcentaje llega a alcanzar el 50%. Por su parte, Japón produce el 50% de todos los áridos marinos extraídos en el mundo. En 1988 se produjeron en este país 70 millones de toneladas por un valor de 100.000 millones de yenes.

La legislación española, a través de la Ley de Costas de 1988, prohíbe específicamente la extracción en el dominio público marítimo-terrestre (zona submareal y franja costera hasta donde alcanzan las olas de los mayores temporales conocidos) de áridos para la construcción. A pesar de ello la extracción de áridos constituye un negocio que mueve cientos de millones de euros anualmente. Ello se debe a que su extracción está permitida si se emplean en la creación, regeneración de playas o conservación del litoral. Esta excepción es consecuencia directa del peso del sector turístico en nuestra economía. España es el tercer país más visitado del mundo y acapara el 7% de todos los destinos. Según los datos proporcionados por el Banco de España y la Secretaría de Estado, Turismo, Comercio y las PYME, el turismo en España generó en 1997 un saldo de 20.000 millones de euros (3,3 billones de pesetas), el 10,5% del Producto Interior Bruto. Siendo la costa el destino del 80% de estos turistas, es comprensible que el Ministerio de Medio Ambiente dedicase a la mejora de accesos al litoral, la construcción de paseos y conservación del litoral, una inversión de 900 millones de euros (150.000 millones de pesetas) en el quinquenio 1993-1997; el 57% de los cuales fue destinado a la regeneración o creación de playas según los datos hechos públicos por la Dirección General de Costas. La distribución de estas inversiones ha dependido del grado de conservación de la costa y de la afluencia turística. Las Islas Canarias, junto con las comunidades bañadas por el Mediterráneo, han sido las principales destinatarias de estas inversiones. A pesar de ello y durante este quinquenio, Galicia recibió una inversión de 75.000 millones de pesetas (450 millones de euros), con los que se construyeron o mejoraron 55 km de paseos marítimos y se regeneraron o crearon 20 km de playa. En Galicia, los datos de las actuaciones más importantes en playas de las provincias de A Coruña y Pontevedra se presentan en la tabla 1.

**Regeneraciones llevadas a cabo por el Ministerio de Medio Ambiente
hasta el año 1995**

PROVINCIAS DE PONTEVEDRA Y A CORUÑA

Playa	Longitud (m)	Anchura media (m)	Año regeneración	Inversión (Pta)
A Coruña				
Ares	1100	18	1993	13.200.000
Cabanas	1400	20	1990	206.700.000
Santa Cristina	880	17	1992	689.000.000
Orzán	700	10	1992	1.791.300.000
Camelle	180	25	1984	51.700.000
Lago del Norte	110	12	1992	24.800.000
Pontevedra				
Compostela	750	40	1995	639.000.000
Portonovo	500	20	1995	105.100.000
Lourido	700	15	1995	163.300.000
Loira	300	40	1993	49.500.000
Bao	800	45	1990	147.900.000

TABLA 1.—Importe de las regeneraciones de playas llevadas a cabo desde 1984 en distintas playas gallegas.

TABLE 1.—Total cost of beach renourishments carried out in Galicia since 1984.

Aunque no existen datos oficiales acerca del volumen total de reservas estimadas, los áridos son en este momento el único recurso mineral marino en explotación, y que posee un peso específico entre los recursos mineros de Galicia. Su importancia económica viene determinada por la cuantía de las intervenciones en las playas gallegas (tabla 2).

Actuaciones de la Dirección General de Costas en Galicia

Período 1993-1997	Paseos	Playas	Total
Metros de costa intervenidos	45.000	20.000	65.000
Inversión en millones de pesetas	9.000	4.000	13.000
Dimensiones de la costa en Galicia		Cuota turística de Galicia en 1993	
km totales	1.732,4 (17,27% del total nacional)	7,0 % nacionales	
km playas	237,0 (12,25 % de la costa gallega)	2,6 % extranjeros	

TABLA 2.—Datos indicativos de la cuantía e importancia de las actuaciones institucionales en la costa gallega, y de su representatividad con respecto a las medias nacionales.

TABLE 2.—Relative importance of the institutional investment in the Galician coast.

ÁRIDOS MARINOS Y REGENERACIÓN DEL LITORAL

Hasta la década de los 80 y principios de los 90, la principal vía de actuación para el mantenimiento y la gestión del litoral español era la construcción de estructuras fijas (rompeolas, diques, espigones). El objetivo principal de estas actuaciones era alterar la dinámica marina, reduciendo de este modo la tasa de erosión. Estas estructuras, junto con un pequeño aporte de sedimento, permitían la restauración de espacios litorales deteriorados. Sin embargo, este tipo de obras interrumpe también el transporte de sedimento en la costa, llegando a generar erosión aguas abajo del área regenerada (Fig. 1). Actualmente, la tendencia hacia las llamadas soluciones blandas es clara. La regeneración del litoral se realiza, fundamentalmente, a través del aporte de un volumen de arena capaz de compensar la erosión (Fig. 2). De este modo se extiende la playa y la zona *nearshore* aguas adentro, favoreciendo la función protectora de la playa frente a posibles temporales y aumentando la superficie de playa seca para su aprove-



FIG. 1.—Ejemplo de la influencia de las estructuras fijas en la morfología y en los procesos costeros. Playa de Compostela (Ría de Arousa, Pontevedra) antes de la regeneración.

FIG. 1.—Influence of fixed structures in the coastal processes and resulting morphology. Example from Compostela beach (Ria of Arousa, Pontevedra) before renourishment.



FIG. 2.—Playa de Compostela después de la regeneración llevada a cabo por el Ministerio de Medio Ambiente (antiguo MOPU) en el año 1995.

FIG. 2.—Compostela beach after the beach renourishment carried out by the Ministerio de Medio Ambiente.

chamiento turístico. En este tipo de actuación, el volumen de arena utilizado es mayor, siendo importante la evaluación de posibles áreas de préstamo que cubran las necesidades del proyecto. Como área de préstamo se entiende la zona de donde se extrae la arena que se utiliza para la creación y realimentación de una playa.

La existencia de áreas de préstamo adecuadas es determinante en el coste final del proyecto y, por tanto, en su viabilidad. Los requisitos principales que debe cumplir son: proximidad a la zona de actuación, características sedimentarias adecuadas y volumen de arena suficiente.

La forma de transporte de la arena, así como la distancia desde la zona de préstamo hasta la playa encarecen el coste final del proyecto. Así, para las fuentes terrestres (depósitos fluviales o marinos antiguos) el transporte se lleva a cabo en camiones, siendo una de las formas más costosas, y generando un deterioro añadido en las carreteras. Sin embargo, se acepta como una opción efectiva en la fase de mantenimiento de una regeneración, donde se requieren

aportes continuos de un volumen bajo de arena. Una opción más económica es la explotación de depósitos sedimentarios en zonas de marismas, puesto que los sedimentos se encuentran cercanos a la playa y pueden ser trasladados mediante una tubería. Sin embargo, estos sedimentos suelen tener un tamaño de grano demasiado fino, no siendo estables en un relleno. Los sedimentos dragados en los canales de navegación pueden ser también una opción módica, puesto que el material dragado debe eliminarse del canal de navegación. Su transporte a otras zonas se contempla en el propio proyecto de dragado tratando de combinarse, en la medida de lo posible, con un proyecto de regeneración del litoral. Por último, los sedimentos situados *offshore* son utilizados habitualmente en la realimentación de playas. Puesto que las fuentes terrestres son escasas, la tendencia se ha desplazado hacia estas zonas donde son frecuentes grandes depósitos arenosos a profundidades entre 15 y 25 m. Es fundamental que el material extraído esté localizado a una distancia *offshore* suficiente, tal que la arena aportada a la regeneración no retorne al área de préstamo. En la mayoría de los casos, las zonas de préstamo se sitúan a unos 2 km de la costa, bastante aguas adentro de la profundidad de cierre de la playa.

Existen tres posibles arenas de préstamo para un proyecto de regeneración: arenas artificiales, arenas seminaturales y arenas naturales. La primera de éstas es arena de machaqueo, más gruesa y angulosa, por lo que disminuye la calidad de la playa. Su precio es elevado, dependiendo del tamaño de grano del material: cuanto más gruesa es la arena, más barata. Esta opción se utiliza únicamente cuando no existe otra solución posible. En Galicia existe una fuente importante con las arenas seminaturales. Estas arenas proceden de la descomposición del granito, donde los feldespatos se caolinizan y los granos de cuarzo quedan sueltos. La presencia de un elevado porcentaje de arcillas o la no descomposición total de los feldespatos puede ser un inconveniente importante para su utilización en la regeneración de playas. Por último, las arenas naturales son la fuente más apreciada en una alimentación, tanto por su carácter redondeado como por su bajo precio.

En la selección del sedimento idóneo para un proyecto de regeneración, la relación entre el diámetro medio del sedimento de relleno y el de la arena nativa se convierte en un parámetro crítico de diseño. Esta relación determinará el volumen total de arena necesario y, por tanto, el coste final del proyecto. Cuanto más grueso es el sedimento, el perfil de playa adquiere mayor pendiente (Fig. 3a), siendo necesario menor volumen de arena para establecer una determinada anchura de playa. Cuando el material de préstamo sea más fino que el nativo (Fig. 3b), la pendiente disminuye. En un caso extremo, si el sedimento es demasiado fino, puede que no se produzca un aumento en la playa seca después de que el relleno ha alcanzado su posición de equilibrio (Fig. 3c). Un tamaño de grano de préstamo igual al de la arena nativa se considera sinónimo de calidad. La realimentación con arena sólo ligeramente más pequeña que la arena nativa puede resultar en anchuras de playa seca significativamente menores comparadas con arenas del mismo tamaño o mayores que la arena nativa (Fig. 3).

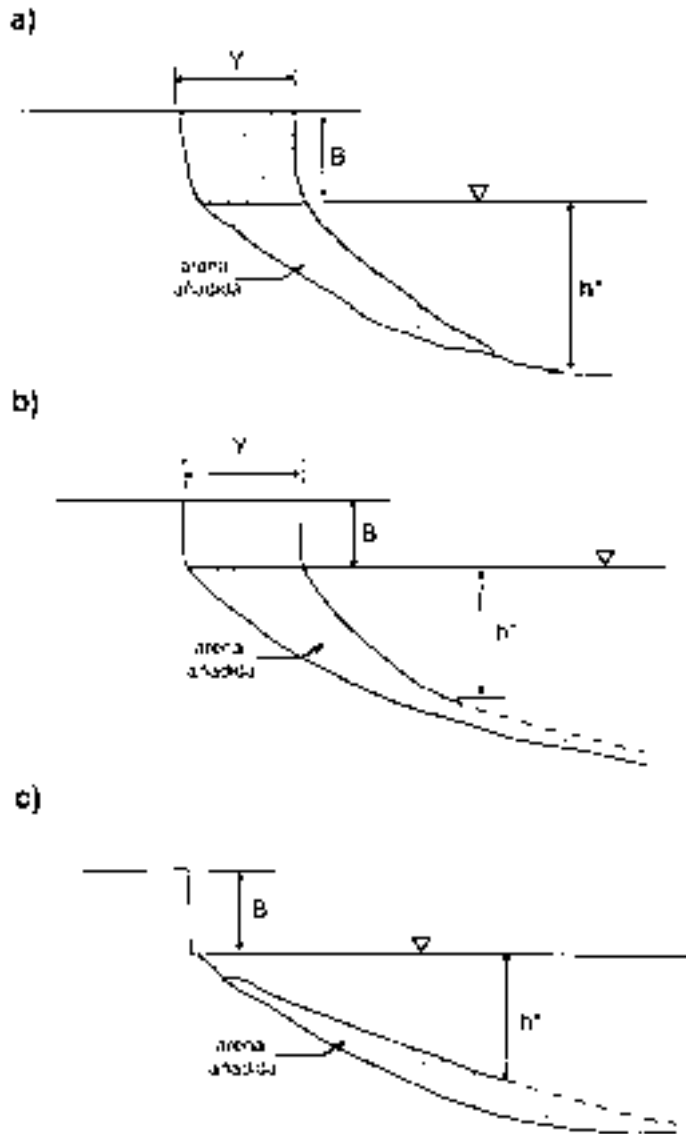


FIG. 3.—Perfiles obtenidos tras la regeneración, aplicando el método de Dean (Y = Anchura de diseño de la playa seca; B = altura de la berma; h^* = profundidad de cierre del perfil): a) mediana de la granulometría de la arena de préstamo mayor que la de la arena nativa; b) mediana de la arena de préstamo más fina que la de la arena nativa; c) caso extremo con arena de préstamo muy fina. Modificado de Liu, 1995.

FIG. 3.—Beach-renourished profiles obtained by the Dean method (Y = design width of the dry beach; B = berm height; h^* = closure depth): a) grainsize of fill sediment is bigger than native sediment; b) grain-size of fill sediment is smaller than native sediment; c) extreme case when grainsize of fill sediment is much smaller than native sediment. After Liu, 1995.

Por tanto, las características del sedimento nativo y de préstamo determinarán el volumen de arena total necesario en la regeneración en un tramo del litoral. Así, el área de préstamo seleccionada debe cubrir las necesidades de arena planteadas en el proyecto. En cualquier regeneración se debe llevar a cabo un estudio previo para identificar zonas de préstamo potenciales ya que esto determina, en parte, el diseño del proyecto y los aspectos económicos del mismo. La exploración debe determinar los límites del depósito, el espesor del sedimento útil y las características sedimentarias. En España, la principal fuente de sedimento son los depósitos *offshore*. Para su localización, se utiliza sísmica de reflexión de alta resolución, tomándose muestras superficiales de sedimento y testigos en las áreas más prometedoras para caracterizar el depósito.

En la costa gallega, la dirección General de Costas ha llevado a cabo una serie de estudios geofísicos y campañas de sondeos marinos. El objetivo principal de estos estudios era la evaluación de los recursos de arena existentes en el fondo del mar y su posible utilización como zonas de préstamo en la regeneración de playas. En estas campañas se prospectaron los 10 km más próximos a la costa, a lo largo de la plataforma gallega, entre los años 1987 y 1994, tal y como se muestra en la figura 4. Como ejemplo de prospección y evaluación de áridos, se resumen a continuación los aspectos más relevantes de una de estas campañas.

PROSPECCIÓN DE ÁRIDOS

En 1991 GEOMYTSA llevó a cabo la prospección geofísica y muestreo superficial del sector de costa comprendido entre la desembocadura del río Miño y las islas Cíes por encargo de la Dirección General de Costas. Su objetivo fue determinar las áreas de préstamo más favorables en dicha zona. Para ello se utilizó el buque de prospección *Investigador*, de 60 m de eslora, posicionado por DGPS con un error máximo de 2,8 m. Los instrumentos geofísicos utilizados proporcionaron información muy importante durante el estudio. Entre ellos se utilizó una ecosonda (230 kHz), montada en la quilla del buque, para la determinación del espesor de la lámina de agua. A partir de estos datos se realizaron mapas batimétricos de detalle a escala 1:5000 (equidistancia = 1m). Un perfilador (3.5 kHz), también montado en la quilla y capaz de penetrar varios metros en sedimento blando, permitió establecer las características principales del sedimento superficial y la cartografía de reflectores fuertes. Un sonar de barrido lateral, con una resolución de entre 12.5 y 750 m era arrastrado por lo general a unos 50 m del buque. Esto permitió distinguir fácilmente los fondos rocosos de alta reflectividad de los fondos móviles arenosos de reflectividad media, con una cobertura de 150 m a cada lado del buque. Para la investigación del sustrato profundo se utilizó un *uniboom* (330 julios, 4 disparos/s), lo que permitió detectar la presencia de un reflector profundo cartografiable y de apantallamientos de gas en ciertas zonas. La campaña se realizó sobre una malla de 250 m × 2000 m, sobre la que se realizaron 228 recorridos (218 perpendiculares a la cos-

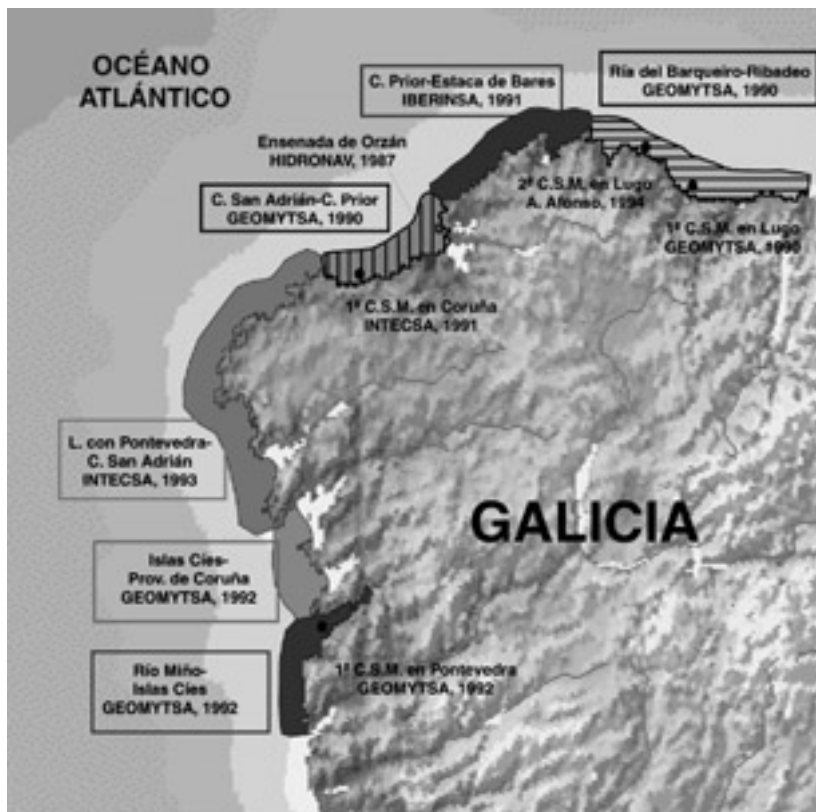


FIG. 4.—Zonas en las que se ha llevado cabo la prospección de áridos marinos para regeneración de playas entre 1987 y 1993, por diversas empresas.

FIG. 4.—Areas of the Galician coast prospected for beach renourishment sand between 1987 and 1993.

ta y 18 paralelos). En total se realizaron 918 km de sísmica, se recogieron 1067 muestras de sedimentos superficiales con una draga *shipeck* y se posicionaron 36101 puntos, uno cada 25 m. Sobre cada una de las muestras se realizaron análisis granulométricos y mineralógicos de detalle para establecer el grado del material. Una vez establecidas las características del objetivo, a partir de todos estos datos se realizaron mapas de isopacas y morfogenéticos. En ambos se reflejó la calidad de los fondos y las zonas de préstamo recomendadas. Éstas fueron utilizadas con posterioridad para la regeneración de playas en la zona.

EL CASO ESPECIAL DEL APROVECHAMIENTO DE LAS CONCHAS DE MEJILLÓN

La gran importancia cuantitativa del cultivo de mejillón en Galicia proporciona la materia prima de una importante industria conservera. La actividad de

este sector, sin embargo, produce como subproducto una cantidad importante de conchas de mejillón. La forma en la que se gestiona este residuo ha sido objeto recientemente de cierta inquietud social, en particular en la comarca de Arousa, donde se localiza del orden del 40% de la producción de este molusco en Galicia. A partir de los datos de producción de mejillón de Durán *et al.* (1990) se puede estimar que en 1989 se produjeron 45000 t de concha en la ría de Arousa. Una parte pequeña de este residuo se utiliza tradicionalmente en Galicia como corrector de suelos ácidos o silíceos, o como árido ornamental en la capa superior del firme en paseos peatonales y jardines. Sin embargo, la mayor parte del mismo se acumula al aire libre en zonas concretas, y por lo general mínimamente acondicionadas para ese propósito. Aunque esto no presenta un riesgo ambiental grande, produce un efecto visual indeseado y una incomodidad considerable a los vecinos y al sector hostelero de la zona, más acusadas en ciertas épocas del año.

La trascendencia social de este problema hace que la gestión y/o aprovechamiento adecuado de este residuo no sea un tema trivial. Existen soluciones muy diversas (Rey *et al.*, 2000) pero todas ellas pueden agruparse en dos opciones contrapuestas. Por un lado, su tratamiento como residuo controlado va a generar un coste cuyo importe, que repercutirá en el precio final del producto, está por ver si ha de ser asumido por los sectores transformador o productivo, o por ambos simultáneamente, y si ha de ser con o sin el concurso de la administración. Por otro lado, los estudios de viabilidad económica de una industria asociada a la transformación y aprovechamiento de la concha, están llevando a considerar muy seriamente en este momento no sólo el valor añadido que aportaría a los sectores productivos y transformadores, sino si este aprovechamiento sería capaz de reducir los costes que generaría la gestión del residuo como tal. Es de destacar que muchos países explotan en la actualidad las reservas de arenas carbonáticas en sus costas, especialmente aquellos en los que no existen yacimientos alternativos de calizas en tierra, o cuando estos se encuentran a distancias inviables de los centros de demanda (en Galicia solo existen en su parte sudoriental). Cabe decir que la industria de extracción de conchas marinas movió en Estados Unidos millones de dolares.

Al contrario que en el caso de los áridos para regeneración de playas, la explotación de las conchas carbonáticas de moluscos como es el caso del mejillón en Galicia, no sólo no interfiere con las pesquerías y maricultura sino que les proporcionaría un valor añadido.

LOS PLACERES MARINOS

Los placeres son depósitos sedimentarios clásticos que se forman como consecuencia de la acumulación y concentración natural de minerales detríticos densos (pesados) de interés económico. Aparecen en la costa y en la plataforma interna, por acción del oleaje y de las corrientes que, a través de unos procesos

físicos específicos, son capaces de concentrar y segregar los minerales en láminas diferenciadas, de acuerdo con su densidad, tamaño y forma.

Entre los minerales pesados metálicos está el oro que se explota en las playas de la península de Nome (Alaska) desde finales del siglo pasado. Aunque económicamente no sean tan importantes como los áridos, algunos placeres, como los yacimientos de casiterita (mena de estaño) de las costas de Indonesia, representan del orden del 30% de la producción mundial de este metal y una industria floreciente para este país. Existen estimaciones de que la explotación de ilmenitas y rutilos en placeres puede llegar a significar hasta 50% de la producción mundial de Ti. A pesar de ello, los placeres de mayor importancia económica son los de minerales preciosos. Principalmente, las explotaciones de diamante y corindón en las costas de Sudáfrica, Namibia y Brasil. En tiempos más recientes existe una demanda creciente de minerales densos no metálicos que, como las monacitas, son ricos en tierras raras y están presentes en numerosas playas del mundo.

Las referencias científicas a la presencia de placeres de minerales metálicos en Galicia se remontan a principios del siglo XX (Calderón, 1910; Soriano, 1928; Parga-Pondal y Lorenzo, 1930; Parga-Pondal, 1935). Sin embargo, este recurso no despertó apenas interés hasta que el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE, antes IGME) detectó la presencia de acumulaciones de minerales pesados durante la realización de estudios a gran escala de la costa y plataforma gallegas (IGME, 1976), centrando una campaña específica posterior en la prospección de pesados (IGME, 1977).

PROSPECCIÓN DE PLACERES MARINOS

Una de las dificultades más importantes a afrontar en toda campaña de exploración de placeres es el alto coste que suponen la obtención y el análisis de muestras de sedimentos marinos. Desde el punto de vista material, el equipo debe poseer la mejor eficiencia y resolución posible, sin perder robustez y resistencia, dadas las condiciones del medio. Desde el punto de vista temporal, todo trabajo que conlleve un muestreo para generar datos directos incrementa ostensiblemente el presupuesto debido al tiempo requerido para la recolección (en este caso, desde una embarcación) y posterior análisis de las muestras.

Por ello, en épocas recientes, se están desarrollando nuevos equipos basados en diferentes técnicas geofísicas con el objetivo de generar datos indirectos que requieran un mínimo muestreo. Este es el caso de la Polarización Inducida (Jones, 1999), basada en las diferentes propiedades eléctricas de los distintos materiales, o la radiometría (de Meijer, 1998), basada en la detección de radiación gamma emitida por los isótopos inestables presentes en todo material. Los rayos gamma son suficientemente energéticos como para ser medidos fácilmente *in situ* y su nivel de energía depende del núcleo emisor. Los principales emisores para nuestro propósito son el ^{40}K , el ^{232}Th y el ^{238}U . El ^{40}K es abun-

dante en los feldespatos, uno de los componentes principales de las arenas mientras que el ^{232}Th y ^{238}U son más abundantes en los minerales pesados.

Manso *et al.* (2000) realizaron un estudio radiométrico de los minerales pesados presentes en la costa gallega como parte de un proyecto desarrollado entre 1997 y 2000. Este proyecto se estructuró en dos fases de campo.

La fase I consistió en un muestreo general de las zonas arenosas litorales más importantes expuestas al oleaje (cerca de 100 playas), seleccionadas a partir de cartas náuticas y fotografía aérea. Las muestras se tomaron en las zonas de mayor actividad, en la figura 5 se observa uno de los puntos de muestreo, donde las laminaciones de minerales pesados son fácilmente visibles. En el laboratorio se eliminó la materia orgánica y se separaron las fracciones ligeras y pesadas por flotación en un líquido denso (politungstato sódico). Tras esto se realizaron análisis radiométricos, de difracción de rayos X y de susceptibilidad magnética, lo que permitió conocer la abundancia y composición de la fracción pesada en las diferentes muestras (Rietveld, 1969) y seleccionar el área donde llevar a cabo un estudio detallado (fase II). La zona de la ría de Muros y sus inmediaciones fue seleccionada por su alta abundancia relativa de minerales pesados (alta señal de U y Th y baja de K) y por su baja abundancia de minerales pesados magnéticos, no detectables con esta técnica (baja susceptibilidad magnética).

La fase II consistió en una campaña radiométrica llevada a cabo desde un barco para cartografiar el submareal de la zona seleccionada, representada en la figura 6a. El estudio se centró en la bahía de Corrubedo, donde se midieron con-

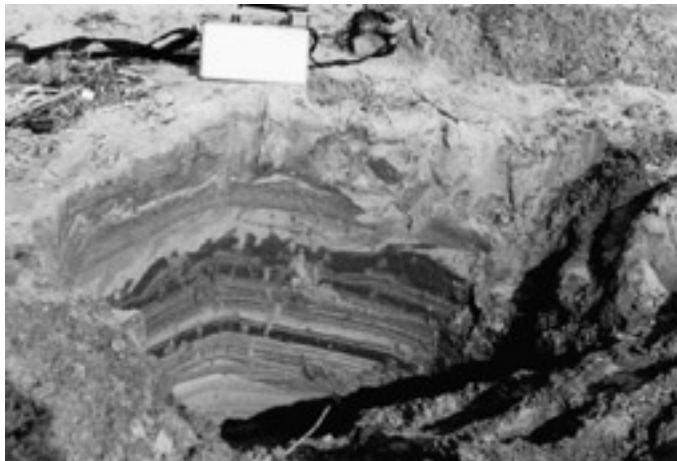


FIG. 5.—Laminaciones de color oscuro formadas por minerales pesados observadas en uno de los puntos de muestreo (playa de Montalbo, Pontevedra). El detector gamma portátil aparece en la parte superior como factor de escala, su longitud es de 25 cm aproximadamente.

FIG. 5.—Dark coloured heavy mineral rich-lamina at Montalbo beach. The portable gamma-ray detector at the upper corner of the picture is 25 cm long for scale.

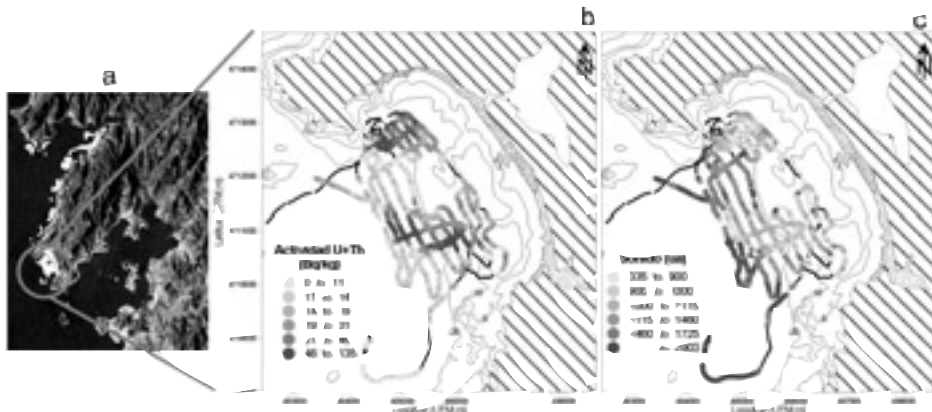


FIG. 6.—a) Área de estudio de la fase II, representa 50 km de largo y 15 km de ancho en línea recta. b) muestra la malla de detalle llevada a cabo en la bahía de Corrubedo, mostrando valores de U+Th y c) de sonido.

FIG. 6.—a) Study area during Phase II survey tackling an area of 50 km long by 15 km wide. b) Detail of the survey track at Corrubedo Bay showing U+Th activity (b) and sound arbitrary values (c).

centraciones interesantes de minerales pesados, por lo que se diseñó una malla de muestreo de mayor detalle. En la figura 6b aparece esta malla, mostrando los valores de actividad de U+Th (parte izquierda) y sonido (parte derecha). Los datos de sonido son generados por un micrófono localizado junto a la electrónica del detector y permiten estimar la rugosidad del fondo. La combinación de ambos gráficos permitió determinar la existencia de dos zonas con alta actividad que presentan valores de sonido bajo, indicando una menor granulometría, como era de esperar. A partir de estos mapas se localizaron las zonas de interés, donde se tomaron un número mínimo de muestras en contraste con el muestreo masivo tradicional. Estas muestras fueron tratadas y analizadas de forma análoga a las de la fase I, permitiendo establecer la distribución de los minerales pesados.

La figura 7 presenta la distribución de la abundancia de minerales pesados en la bahía de Corrubedo calculada a partir de las muestras. Existen dos máximos, 8,7% en el norte y 6,8% en el sur, mientras que en la zona externa se consideró nulo el contenido en minerales pesados, pues el sedimento estaba constituido en su totalidad por cascajo bioclástico. La difracción de rayos X permitió conocer la composición de estas fracciones pesadas. La figura 8 muestra los dos patrones de distribución que seguan los minerales. La figura 8a muestra la distribución de Turmalina, que sólo aparece en la zona norte mientras que la figura 8b muestra la distribución de Almandino, que aparece en ambas zonas pero con mayor concentración en la zona sur. Esta distribución responde al diferente comportamiento hidrodinámico de los minerales debido a su diferente densidad. La densidad de los minerales del grupo de la Turmalina varía entre 2,5 y 3,5 kg/l mientras que la del grupo del Almandino es superior a 4 kg/l.

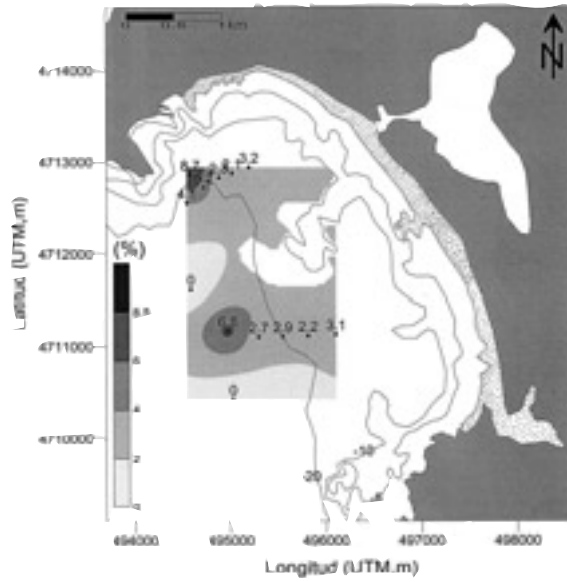


FIG. 7.—Distribución de la abundancia de minerales pesados en la bahía de Corrubedo.
 FIG. 7.—Heavy mineral distribution in Corrubedo Bay.

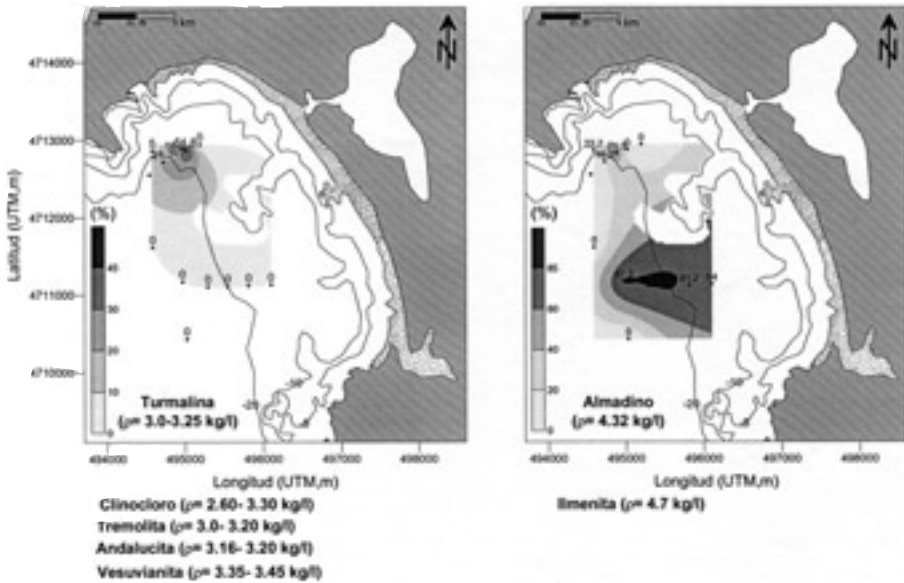


FIG. 8.—a) Distribución de turmalina; b) Distribución de almandino, junto con el grupo de minerales pesados con una distribución análoga a estos.
 FIG. 8.—a) Distribution of tourmaline, (b) distribution of almandine and associated heavy minerals).

Es concebible que el perfeccionamiento de estas técnicas y la consecuente reducción en los costes de exploración, permita llevar a cabo la muy necesaria evaluación del potencial económico de este recurso, que ahora despierta tantas expectativas.

RECURSOS MINERALES MARINOS POTENCIALES

Además de los áridos y los placeres, otros recursos minerales marinos potencialmente presentes en las costas y plataforma gallegas comprenden las fosforitas, las salinas, los hidrocarburos y los gases hidratados. En la figura 9 se presenta la posible localización de algunos de estos recursos en la costa gallega.

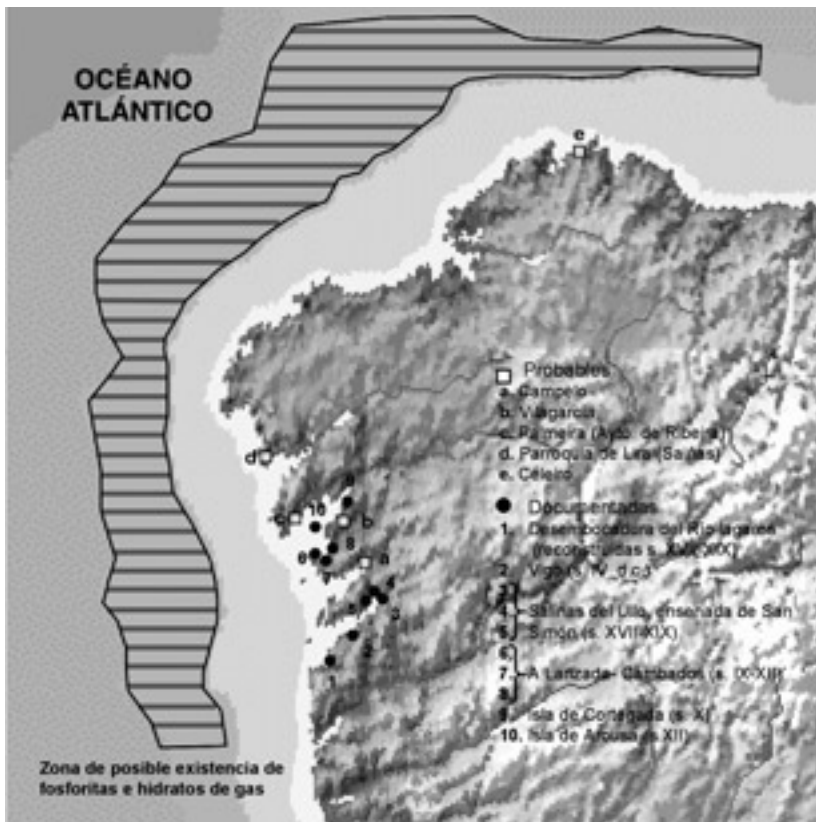


FIG. 9.—Localización de los recursos minerales marinos históricos (sal) y potenciales (fosforitas e hidratos de metano) en el litoral y plataforma gallega.

FIG. 9.—Map showing the location of marine mineral resources in the Galician coast and platform of historical (salt) or potential (phosphorites and methane hydrates) importance.

LAS FOSFORITAS

Son depósitos sedimentarios mixtos de fosfato y carbonato, en los que el principal constituyente mineralógico es el fluorapatito carbonático o francolita. Por lo general aparecen al borde de la plataforma, en los márgenes occidentales

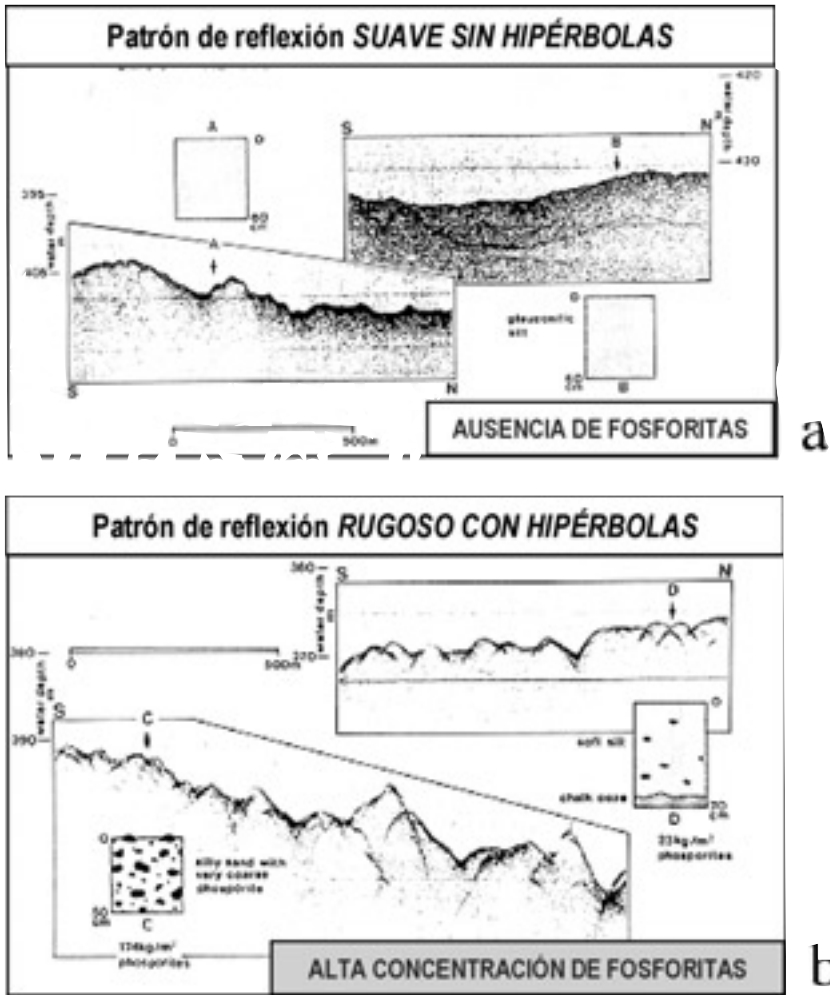


FIG. 10.—Patrones de reflexión sísmica (a) suave y (b) rugoso obtenidos con un Uniboom. Indican la ausencia y presencia de sustratos duros respectivamente, asociados a las mineralizaciones de fosforitas. (Modificado de Kunzendorf, 1982)

FIG. 10.—Uniboom (a) soft and (b) seismic reflection patterns indicating absence and occurrence of hard substrates respectively. These are used as proxies for phosphorities. (After Kunzendorf, 1982)

de algunos continentes. Están asociados a los procesos de afloramientos de corrientes marinas profundas frías cargadas de nutrientes (*upwelling*). Se utilizan como fertilizantes en agricultura, aunque poseen concentraciones importantes de uranio, flúor y vanadio. En 1989 se produjo una demanda mundial del orden de 153 millones de toneladas. Esta demanda se suple con yacimientos fósiles en tierra. En el momento actual sólo Nueva Zelanda ha prospectado y evaluado las fosforitas de su plataforma, que consideran como una reserva estratégica ya que las exportaciones agrícolas dependen de la importación de fertilizantes de terceros países. No se dispone de datos acerca de la presencia de este tipo de recurso en la plataforma gallega, pero la existencia de sustratos duros y la presencia de *upwelling* son indicios suficientes como para considerar su existencia.

Dado el gran interés estratégico que posee este recurso en zonas en las que el sector agropecuario tiene un peso específico en la economía, sería deseable que en los próximos años se llevase a cabo una exploración y evaluación de este recurso en la plataforma gallega. Su prospección inicial no sería muy costosa ya que consistiría fundamentalmente en la prospección, localización y obtención de muestras de sustratos consolidados (*hard grounds*) en la plataforma. Esta metodología se basa principalmente en que los sustratos blandos producen un patrón de reflexión suave sin hipérbolas de reflexión sísmica al dispersarse la energía en el fondo (figura 10a). En contraposición a esto, los sustratos duros producen un patrón de reflexión rugoso (figura 10b) con abundantes hipérbolas de reflexión, al dispersarse poca energía (Kunzendorf, 1982). Una vez localizados este tipo de sustratos se procede a la obtención de muestras, generalmente con dragas hidráulicas dotadas de TV. Entre las herramientas que se emplean se encuentra el *boomer* (0,5 - 6 kHz) en arrastre profundo, que proporciona información acerca de la presencia/ausencia y espesor del objetivo. El sónar de barrido lateral, también en arrastre profundo, da una idea de la reflectividad, morfología a pequeña escala y extensión lateral del objetivo. Por último, la obtención de muestras podría realizarse con una draga hidráulica o con *box-corer* grandes (50 × 50 × 150 cm), con objeto de confirmar la existencia de sustratos consolidados fosforíticos y determinar sus características petrológicas.

LA SAL MARINA

Las salinas marinas constituyen un recurso mineral importante en España. En 1988 se produjeron más de un billón de toneladas de cloruro sódico de origen marino. Satisface la demanda de sal común para consumo alimentario en nuestro país y se exportan cantidades muy importantes a los países del norte de Europa, para mezclarlo con arena y reducir así el riesgo de formación de hielo en superficies de rodadura de los sistemas de transporte. El excepcionalmente frío invierno de 1998 causó el agotamiento por un mes de todas las reservas existentes en nuestro país. Las condiciones climáticas de Galicia no permiten en

la actualidad la existencia de explotaciones de sal marina económicamente viables, ya que se requieren condiciones de alta evapotranspiración y baja precipitación.

Importancia histórica de las explotaciones de sal marina en Galicia. Los datos históricos y arqueológicos disponibles demuestran que en el pasado la explotación de la sal marina llegó a constituir un negocio de cierta importancia. La importancia de la sal y el esfuerzo por obtenerla localmente está registrado en diversos lugares y épocas en la costa gallega. Inexistente en la actualidad, la actividad de las salinas marinas debió tener relativa importancia en el pasado.

Aunque aún son escasas las referencias, motivadas quizás por la previsible ubicación bajo el actual nivel de mar, se tiene constancia de la existencia de alguna salina de época romana, como la encontrada en excavación arqueológica realizada en Vigo, en la rúa Hospital, de 1995 a 1997, y cuya extensión viene demostrada por la nueva excavación en la rúa Rosalía de Castro en 1999 y 2000. Igualmente está documentada la industria salazonera en yacimientos como el de Bueu (ría de Pontevedra).

Sin embargo, la documentación medieval viene a registrar su importancia en el área de la ría de Arousa, donde se encuentra la comarca de O Salnés, que toma su nombre de las salinas allí ubicadas en el pasado. López Ferreiro (1898 y ss.) transcribe diferentes documentos con referencias a salinas en el área de O Salnés. Se documentan así diversas salinas en la ría de Arousa en los siglos IX al XII en A Lanzada, O Grove, Noalla e islas de Cortegada y Arousa, estando localizados los restos de algunas de ellas. También en 1225 aparecen documentadas las salinas de la desembocadura del Lagares (ría de Vigo), de propiedad monacal, que reconstruidas a finales del s. XVII perdurarán hasta el XIX como propiedad ya del Marqués de Valladares.

Durante la edad moderna, el monopolio de la sal impuesto por el estado, que implicaba un sistema de estancos, debió ser la causa de la escasez de salinas en la costa gallega. A mediados del siglo XVIII el Padre Sarmiento refleja con detalle su interés y preocupación por la materia. El 18 de diciembre de 1748, escribe desde Madrid a su hermano Francisco Xavier García Sarmiento una carta sobre la industrialización y comercialización de diversos géneros en Galicia. En ella afirma: “No han de creer los venideros lo que con la sal pasa en este reino, que teniendo más de 150 leguas de costas de océano y con mil sitios para salinas, le venga y necesite venir la sal de países extraños, pues el mismo útil percibiría el rey si a su costa hiciese salinas reales en costas retiradas de los pueblos, para que un tonto no me arguya que son dañosas” (Sarmiento, 1995). El mismo autor escribe en 1750 otra carta en la que afirma no haber visto más salinas que las de Noalla (ría de Arousa) y del Ulló (salinas de Vilaboa, ría de Vigo). A estas últimas se refiere también Cornide en 1764 (1991) con el nombre de Salinas Viejas.

Según Fernández et al. (1997) las primeras referencias documentales a las salinas de Vilaboa son de la primera mitad del s. XVII, referentes a la cesión que el administrador general de la fábrica de salinas en el reino de Galicia

hace al colegio de Jesuitas de Pontevedra de los terrenos destinados a la fábrica de tales salinas. Los jesuitas construirán tres salinas entre los años 1694 y 1698 que darán una producción de 6000 a 8000 fanegas anuales (de 330 a 445 m³) que se recogen en el correspondiente alfolí o almacén de sal. Una serie de temporales parece haber sido la causa de la destrucción o deterioro de las mismas, que a principios del s. XVIII ya sólo producen unas 200 fanegas (11 m³) y a mediados de siglo parecen haber dejado de producir.

Se conserva además el topónimo salinas en distintos sitios de la costa gallega, especialmente de las Rías Bajas, pero también en la costa norte de Lugo.

Esta actividad se extingue entre finales del s. XVIII y principios del XIX, a medida que la mejora de las comunicaciones con el Mediterráneo facilita el intercambio comercial, debilitando su rentabilidad.

HIDROCARBUROS

A principios de los noventa la Xunta de Galicia constituyó la empresa Galiol, con el fin de prospectar hidrocarburos en la plataforma gallega y norte de Portugal. Se realizaron varios sondeos, todos ellos secos. Los detalles de esta campaña (número de sondeos, profundidad alcanzada, edad del objetivo, kilometraje de sísmica, inversiones realizadas) se solicitaron personalmente y por escrito (11.05.2000) al servicio correspondiente de la Xunta de Galicia, negándose la respuesta.

LOS HIDRATOS DE GAS

Los hidratos de metano naturales son acumulaciones de compuestos sólidos de gas y agua solidificada que aparecen asociados a los sedimentos marinos presentes en los márgenes continentales de todos los océanos actuales y a los *permafrost* de las regiones polares. Constituyen una seria alternativa potencial a las reservas no renovables de combustibles fósiles actuales.

Estos compuestos están constituidos por un cierto tipo de hielo cuya estructura cristalina está formada por gas natural, mayoritariamente metano, y agua. Su unidad estructural es una celda en la que el agua forma un retículo rígido (*clathrate*) en cuyo interior aparece un hueco ocupado por una molécula de gas huésped, que en medios naturales es principalmente metano. Debido a la disposición espacial de las moléculas de gas en esta estructura, los hidratos de gas pueden acumular cantidades enormes de gas en volúmenes de sedimento muy reducidos.

Su aparición en medios naturales depende de tres factores interrelacionados: temperatura, presión y composición, tal y como se muestra en el gráfico de estabilidad de la figura 11. Este diagrama, basado en datos de Kvenvolden (1993) y Miles (1995) muestra sombreada la Zona de Estabilidad de los Hidratos de

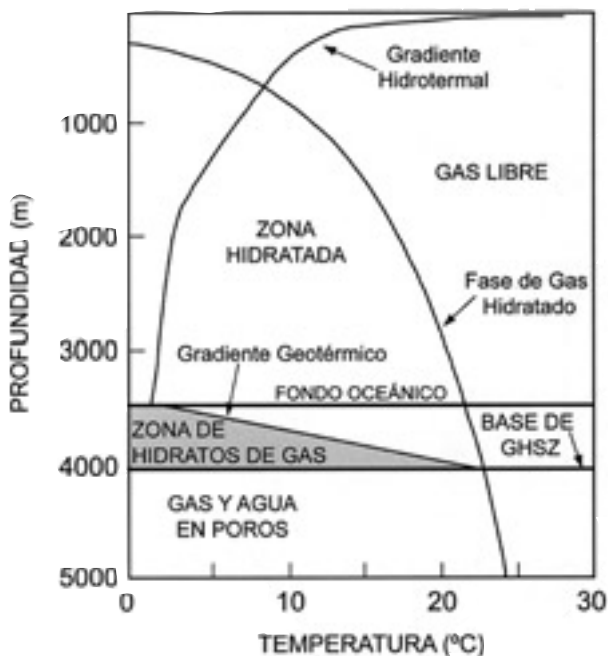


FIG. 11.—Diagrama de fases en el que se muestra el límite entre el gas metano libre y el hidrato de metano considerando un sistema de agua pura y metano puro. La presencia de gases de mayor peso molecular, como el propano, trasladaría los límites hacia la derecha, permitiendo su formación a menor presión, y consecuentemente a menos profundidad, o a menor temperatura. La presencia de sales haría que los límites se desplazasen hacia la izquierda, reduciendo la zona de estabilidad. Basado en Kvenvolden (1993) y Miles (1995).

FIG. 11.—Phase diagram showing boundary between free methane gas and methane hydrate for pure water and pure methane system. After Kvenvolden (1993) y Miles (1995).

Gas (ZEHG) indicando las condiciones de presión-temperatura bajo las que los hidratos de gas natural, compuestos principalmente por metano, serían estables en los márgenes continentales. Considerando los rangos de presión y temperatura existentes en los océanos actuales, generalmente se acepta que los hidratos de gas podrían existir a profundidades mínimas de unos 300 m en el Ártico y máximas de 600 m en las zonas subtropicales.

El talud continental de Galicia se encuentra dentro del rango de estabilidad termodinámica de estos compuestos, lo que hace que los hidratos de gas constituyan, también aquí, uno de los recursos minerales marinos potenciales más interesantes a medio y largo plazo. Su importancia económica no es despreciable. Las estimaciones más pesimistas consideran que la cantidad total de carbono acumulada en la Tierra en forma de hidratos de gas es de alrededor de 10.000 Gigatoneladas, aproximadamente el doble del carbono acumulado en todas las reservas de combustible fósil conocidas.

La presencia de hidratos de metano en los sedimentos marinos se detecta de formas muy diversas. Las técnicas más comunes y útiles *offshore*, se basan en la interpretación de datos geofísicos, fundamentalmente utilizando perfiles de reflexión sísmica. Las acumulaciones de hidratos de gas producen un fuerte contraste acústico que resulta en la formación de un reflector simulador de fondo o BSR (*Bottom Simulating Reflector*), al que aparecen asociados un apantallamiento de la amplitud y una inversión de la velocidad (Dillon *et al.* 1993). A pesar de su importancia, los datos geofísicos sólo son indicios indirectos que han de constatarse *in situ* a través de los correspondientes sondeos. Durante las etapas de detección y constatación, también se utilizan indicadores geológicos y biológicos. El tamaño de grano, la presencia de marcas de escapes de gas, las firmas isotópicas del ^{12}C y el Mn, los cambios bruscos en la salinidad del agua intersticial, o la presencia de ciertos organismos bentónicos asociados a exhalaciones de metano, son algunos de ellos.

Aunque los datos sísmicos existentes en el talud gallego todavía no han sido estudiados a este respecto, sí se han descrito efectos de apantallamiento sísmico y rasgos geomorfológicos de la presencia de escapes de gas en el interior de las rías (GEOMYNTSA, 1991; García-García *et al.*, 1999; García-Gil *et al.*, 1999). Aunque estos indicadores aparecen a profundidades fuera del rango de estabilidad termodinámica de los hidratos de metano, debemos considerar que de haber existido un flujo de metano orgánico en el talud, similar al que se observa en el interior de las rías, podría existir depósitos importantes de este tipo.

A pesar de que los datos de que disponemos en la actualidad indican que los hidratos de gas poseen potencial como para convertirse en una formidable fuente de energía alternativa, su desarrollo todavía se encuentra en una etapa muy temprana. Para desarrollarlo la industria ha de resolver una serie de problemas tecnológicos y científicos que no son triviales, tales como su extracción y distribución. La mayoría de las soluciones extractivas pasan por costosos procesos de disociación *in situ* de los hidratos sólidos, ya sea por estimulación térmica, despresurización o por la utilización de inhibidores químicos. Otros aspectos tales como el transporte en gasoductos a las zonas de consumo presenta problemas importantes, ya que éstos han de atravesar zonas de talud continental de gran inestabilidad geológica. Además, dada su distancia a la costa, han de recorrer mayores distancias que los gasoductos actuales. Sólo un alza considerable del precio del crudo hará rentables estas inversiones a medio y largo plazo.

Anticiparse en cualquiera de estos aspectos proporcionará una ventaja sustancial en el inevitable desarrollo de las fuentes de energía alternativas a las limitadas reservas actuales de combustibles fósiles y la tendencia alcista de los precios de los hidrocarburos en los últimos dos años. En este escenario, la estrechez de la plataforma gallega y su estabilidad tectónica pueden constituir una baza interesante si se plantea una exploración geológica preliminar detallada del entorno del talud. Por otro lado y durante las próximas décadas, los gobiernos han de anticipar un régimen jurídico que garantice unas condiciones de seguri-

dad adecuadas durante su prospección y extracción, y que considere los riesgos ambientales que en el ámbito global pueda derivarse de una liberación incontrolada de metano a la atmósfera.

CONCLUSIONES

En la actualidad, y al igual que ocurre a escala internacional, tanto la valoración como la explotación de los recursos minerales marinos de las rías gallegas y de las zonas marítimas adyacentes está virtualmente restringida a la Zona de Exclusividad Económica (200 millas náuticas). Su importancia económica está además vinculada al costoso desarrollo de tecnología marina específica, y sujeta a las fluctuaciones de los mercados internacionales de materias primas, actualmente en declive. Además, y hasta hace muy poco, no existía una legislación clara que regulase su extracción. En este contexto, una vez descartada la presencia de yacimientos importantes de placeres de minerales pesados y preciosos, sólo los áridos marinos, empleados fundamentalmente en la regeneración de playas, tienen una relevancia económica significativa y por ello sus reservas son razonablemente conocidas. En la actualidad, y al igual que ocurre a nivel internacional, tanto la valoración como la explotación de los recursos minerales marinos de las rías gallegas y de las zonas marítimas adyacentes está virtualmente restringida a la Zona de Exclusividad Económica (200 millas náuticas). Su importancia económica está además vinculada al costoso desarrollo de tecnología marina específica, y sujeta a las fluctuaciones de los mercados internacionales de materias primas, actualmente en declive. Además, y hasta hace muy poco, no existía una legislación clara que regulase su extracción. En este contexto, una vez descartada la presencia de yacimientos importante de placeres de minerales pesados y preciosos, solo los áridos marinos, empleados fundamentalmente en la regeneración de playas, tienen una relevancia económica significativa y, consecuentemente sus reservas son razonablemente conocidas.

En el momento actual, dos factores asociados al crecimiento económico experimentado durante las últimas dos décadas han producido un aumento significativo del consumo energético por un lado, y una nueva demanda de ciertos tipos de minerales que satisfagan las necesidades de las nuevas tecnologías por el otro. En este contexto, es muy posible que los hidratos de gas y las fosforitas, que casi con toda certeza existen en la plataforma y talud continental, constituyan los dos recursos minerales marinos que más merezcan nuestros esfuerzos en la investigación y prospección minera marina de los próximos años. Por otro lado la extensión de este tipo de investigaciones a otras zonas más profundas dentro de la Zona de Exclusividad Económica, podría también tener gran interés, sobre todo en lo que se refiere a las concentraciones de minerales ricos en Co. La información de que disponemos en este momento es a todas luces insuficiente para realizar una valoración más detallada éstos en el momento actual.

APÉNDICE

LA ADMINISTRACIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES MARINOS:
NORMAS SECTORIALES

La preocupación social y administrativa sobre todo lo relacionado con el medio ambiente, la introducción de la visión integral y globalizadora respecto al medio (la interacción tierra-mar) y las normas internacionales respecto al derecho del mar, son ejes básicos de la comprensión de la estrategia administrativa respecto a los recursos marinos, expresada a través de la política de aguas jurisdiccionales, medioambiental, de costas, de aguas, etc.

Respecto a las aguas jurisdiccionales o mar territorial, tras el establecimiento de la jurisdicción sobre las primeras 12 millas náuticas a efectos de pesca en 1967 y fiscales en 1968, en 1977 se trata de dar homogeneidad a las normas sectoriales y se fija que la “soberanía del Estado español se extiende, fuera de su territorio y de sus aguas interiores, al mar territorial adyacente” en esas mismas 12 millas náuticas, y que “dicha soberanía se ejerce, de conformidad con el Derecho Internacional, sobre la columna de agua, el lecho, el subsuelo y los recursos de ese mar, así como el espacio aéreo suprayacente”. El límite interior de dicho mar territorial está determinado bien por la línea de bajamar escorada bien por las líneas de base rectas definidas en otra norma de ese mismo año. En 1978 se define la zona económica exclusiva que se extiende más allá del mar territorial hasta una distancia de 200 millas náuticas, contadas a partir de las líneas de base que sirven para el establecimiento del mar territorial. En dicha zona el Estado español tendrá “derechos soberanos a efectos de la exploración y explotación de los recursos naturales del lecho y del subsuelo marinos y de las aguas suprayacentes”, correspondiendo al Estado español, en consecuencia, “el derecho exclusivo sobre los recursos naturales de la zona”, “la competencia de reglamentar la conservación, exploración y explotación de tales recursos, para lo que se cuidará la preservación del medio marino”, “la jurisdicción exclusiva para hacer cumplir las disposiciones pertinentes” y “cualquiera otras competencias que el gobierno establezca en conformidad con el derecho internacional”, aunque limitando su aplicación a las aguas atlánticas tanto peninsulares como insulares.

En la costa y litoral, otras normas prohíben o fijan las condiciones para la extracción de áridos. Así, la Ley 22/1988, de 28 de julio, de costas y el reglamento que la desarrolla (1989), consideran bien de dominio público marítimo-terrestre estatal a la ribera del mar y de las rías que incluye la zona marítimo-terrestre y “las playas o zonas de depósitos de materiales sueltos, tales como arenas, gravas y guijarros, incluyendo escarpes, bermas y dunas tengan o no vegetación, formadas por la acción del mar o del viento marítimo, u otras causas naturales o artificiales”. Ello será aplicable, además, “a las rías y desembocaduras de los ríos hasta donde sea sensible el efecto de las mareas”. De ello se derivan diversos mecanismos de protección entre los que debemos destacar: la

prohibición de actividades que impliquen la destrucción de yacimientos de áridos en la zona de servidumbre de protección (no considerando como tal el aprovechamiento de los mismos para su aportación a las playas); la intención de prevenir y evitar la interrupción del transporte eólico de los áridos; que en los tramos finales de los cauces se deberá mantener la aportación de áridos a las desembocaduras; el derecho de tanteo y retracto sobre las transmisiones de los yacimientos de áridos emplazados en la zona de influencia, así como su declaración de interés público a efectos de expropiación; el desarrollo de artículos específicos sobre extracciones de áridos y dragados; etc.

El objetivo buscado de no interrumpir los procesos naturales, reflejados en los mecanismos referentes al mantenimiento del transporte eólico o de la aportación de áridos a las desembocaduras, implica en algunos casos la interconexión con otras normas sectoriales. Las modificaciones tierra adentro, a través del represamiento reciente de ríos y corrientes, han producido cambios muy importantes en muchas zonas de la costa española, principalmente como consecuencia de la escasez de sedimentos y nutrientes. Así, el Reglamento que desarrolla los títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto de 1985, de Aguas recoge en su normativa no sólo la regulación en la extracción de áridos con vistas a la protección del recurso agua, sino también con vistas al mantenimiento de sus aportes a la desembocadura. Para ello, en el artículo 75.5. se dispone que “Cuando la extracción se pretenda realizar en los tramos finales de los ríos y pueda ocasionar efectos perjudiciales en las playas o afecte a la disponibilidad de áridos necesarios para su aportación a las mismas, será preceptivo el informe del Organismo encargado de la gestión y tutela del dominio público marítimo, al que se dará después traslado de la resolución que se adopte”.

No hay que olvidar que tanto la Ley de minas de 1973 como el Reglamento General para el Régimen de la Minería (Decreto 2857/1978 de 25 de agosto) extienden su competencia más allá de las tierras emergidas: “Las actividades de exploración, investigación, aprovechamiento y beneficio de todos los yacimientos minerales y demás recursos geológicos que, cualquiera que sea su origen y estado físico, existan en el territorio nacional, mar territorial, plataforma continental y fondos marinos sometidos a la jurisdicción o soberanía nacional, con arreglo a las leyes españolas y convenciones internacionales vigentes ratificadas por España, se regularán por la Ley de Minas y el presente Reglamento. Se incluyen en estas competencias, explícitamente, las salinas.

Por otra parte, hay que atender a la normativa referente a la evaluación de impacto ambiental muy desarrollada en Galicia a través de la Ley de protección ambiental y de los decretos de evaluación de impacto y de evaluación de efectos. Se busca con ella garantizar un procedimiento eficaz para la identificación, valoración, prevención y comunicación de los efectos de un proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente.

Sin olvidar los distintos antecedentes referibles, toda la normativa de este sector deriva de la Directiva 85/337/CEE, del Consejo, de 27 de junio de 1985, relativa a la Evaluación de las Repercusiones de determinados Proyectos Pú-

blicos y Privados sobre el Medio Ambiente. Dicha directiva regula la amplitud con que deben realizarse los estudios de evaluación de impacto ambiental de ciertas obras públicas y privadas. La trasposición de tal norma al ordenamiento jurídico español se realizó mediante el Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental, el cual se desarrolló mediante el correspondiente reglamento, aprobado por Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre. Más recientemente, la Directiva 97/11/CE, del Consejo, de 3 de marzo de 1997, por la que se modifica la 85/337/CEE, y su correspondiente trasposición pretenden la actualización de las anteriores normas.

Uno de los problemas de la aplicación de la norma general deriva de la difícil adscripción de la explotación de los áridos de origen marino a los supuestos recogidos en el anexo correspondiente de la normativa. Respecto a los áridos, solamente las actividades de dragado relacionadas con la construcción de puertos comerciales y la retención de áridos en grandes presas son objeto de valoración. Y la explotación de recursos minerales del fondo no parece encajar en el apartado de “Extracción a cielo abierto de hulla, lignito u otros minerales”.

Además, hay que tener en cuenta el conflicto de competencias derivado de la reserva que el estado hizo para sí del control administrativo sobre el dominio público marítimo-terrestre. Aún cuando la Xunta de Galicia es competente en materia ambiental, la práctica está demostrando escasa sensibilidad del gobierno central a la hora de someter a evaluación las actuaciones en espacios bajo su competencia.

De las normas gallegas, la más destacable es la referente a la evaluación de efectos ambientales, por la cual cualquier actividad que según las normas sectoriales (de aguas, minas, costas, etc.) deba ser sometida a informe, en Galicia requerirá procedimiento de evaluación de efectos ambientales.

Normativa respecto a las aguas jurisdiccionales y mar territorial

- 1967 Ley 20/1967, de 8 de abril, de extensión de jurisdicción marítima a 12 millas a efectos de pesca (BOE núm. 86, de 11 de abril)
 - 1968 Decreto 3281/1968, de 26 de diciembre, [de jurisdicción a efectos fiscales]
 - 1977 Real Decreto 2510/1977, de 5 de agosto, de aguas jurisdiccionales. Líneas de base rectas para su delimitación (BOE núm. 234, de 30 de septiembre)
 - 1977 Ley 10/1977, de 4 de enero, del mar y sus playas. Mar territorial (BOE núm. 7, de 8 de enero)
 - 1978 Ley 15/1978, de 20 de febrero, del mar y sus playas. Zona económica (BOE núm. 46, de 23 de febrero)
-

Normativa española con relación a la extracción de áridos en el medio marino o litoral

- 1973 Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas (BOE de 24 de julio) [Modificado el capítulo VIII por Real Decreto 1303/86, de 28 de junio]

- 1978 Decreto 2857/1978, de 25 de agosto, de Reglamento General para el Régimen de la Minería (BOE núm. 295 y 296 de 11 y 12 de diciembre)
- 1985 Ley 29/1985, de 2 de agosto de 1985, de Aguas (BOE núm.189, de 8 de agosto de 1985 y corrección de errores en núm. 243, de 10 de octubre de 1985)
- 1986 Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. (BOE núm. 103, de 30 de abril de 1986 y corrección de errores en núm. 157, de 2 de julio de 1986)
- 1986 Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental (BOE núm. 155, del 30 de junio de 1986). [Trasposición de la Directiva sobre evaluación de los impactos sobre el medio ambiente de ciertas obras públicas y privadas, aprobada en el Consejo de las Comunidades Europeas de 27 de junio de 1985 (85/337/CEE, JOCE N° L 175 de 5-7-95). Directiva pendiente de trasposición: Directiva 97/11/CE del Consejo de 3 de marzo de 1997 por la que se modifica la Directiva 85/337/CEE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente. Diario Oficial n° L 073 de 14/03/1997]
- 1988 Ley 22/1988, de 28 de julio, de costas (BOE núm. 181, de 29 de julio)
- 1988 Real Decreto 1131/88, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/86, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental (BOE núm. 239, de 5 de octubre)
- 1989 Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre, por el que se aprueba el reglamento general para desarrollo y ejecución de la ley 22/1988, de 28 de julio, de costas (BOE núm. 297, de 12 de diciembre; corrección de errores en BOE núm. 20, de 23 de enero de 1990)

*Normativa gallega con relación a la extracción de áridos
en el medio marino o litoral*

- 1990 Decreto 442/1990, de 13 de septiembre, de evaluación de impacto ambiental (DOG núm. 236, de 30 de noviembre)
- 1991 Decreto 327/1991, de 4 de octubre, de evaluación de efectos ambientales para Galicia. (DOG núm. 199, de 15-10-91)
- 1995 Ley 1/1995, de 2 de enero, de protección ambiental de Galicia. (DOG núm. 29, de 10 de febrero de 1995 y corrección de errores en núm. 72, de 12 de abril)

AGRADECIMIENTOS

Este es el trabajo n.º 216 del grupo EX1 de la Universidad de Vigo. Es una contribución a los proyectos REN2000-1102 MAR del Plan Nacional de I + D, a los PGIDT00PXI30105PR y PGIDT00MAR30103PR de la Xunta de Galicia y al IGCP 464 de la UNESCO.

REFERENCIAS

- ARCHER, A. (1987) Sources of confusion: what are marine mineral resources? In: *Marine Minerals* (Eds. P. G. Teleki, M. R. Dobson, J. R. Moore y U. von Stackelberg). D. Reidel. Dordrecht, pp 421-32.
- CALDERÓN, S. (1910) *Los minerales de España*. Eduardo Arias. Madrid.
- CORNIDE, J. (1991): Descripción circunstanciada de la costa de Galicia, y raya por donde confina con el inmediato reino de Portugal. Hecha en el año de 1764. Introducción de X. L. Axeitos. Edicións do Castro. O Castro, Sada (A Coruña).
- DE MEIJER, R.J. (1998). Heavy minerals from "Edelstein" to Einstein. *Journal of Geochemical Exploration* 62 (1-3): 8- 103.
- DILLON, W. P. (1994): Gas hydrates offshore Alaska and Western continental margin of the United States. In: *The Future of Energy Gases: U.S. Geological Survey, Professional Paper, D. G. Howell (Editor)*, 1570: 313 - 330.
- FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, E., IGLESIAS PORTAS, A., PAZOS LÓPEZ, A., GONZÁLEZ TÁBOAS, F.J. Y CABALEIRO AMIL, M. C. (1997): Estudio da Ensenada de San Simón. Servicio de Publicacións. Excma. Deputación Provincial de Pontevedra. Pontevedra.
- GARCÍA-GARCÍA, A., GARCÍA-GIL, S. Y VILAS, F. (1999): A Seeping Seafloor in a Ría Environment: Ría de Vigo (NW Spain). *Environmental Geology*, 38 (4): 296-300.
- GARCÍA-GIL, S., GARCÍA-GARCÍA, A. Y VILAS, F. (1999): Identificación Sísmico-acústica de las Diferentes Formas de Aparición de Gas en los Sedimentos de la Ría de Vigo (NO España). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 12(2): 301-307.
- GEOMYTSA (1991). Estudio Geofísico Marino entre la Desembocadura del Río Miño y las Islas Cíes (Pontevedra). Informe Técnico realizado para el MOPT. Sin publicar.
- IGME (1976): Investigación minera preliminar de la plataforma continental submarina del área Sur de Pontevedra. Programa Sectorial de Estudio de Fondos Marinos (FOMAR), Ministerio de Industria. Programa Nacional Investigación Minera, (no publicado).
- IGME (1977): Investigación minera preliminar de la plataforma continental submarina de la costa gallega. Programa sectorial de Estudio de Fondos Marinos (FOMAR), Ministerio Industria. Programa Nacional Investigación Minera, (no publicado).
- JONES, E. J. W. (1999): *Marine Geophysics*. John Willey & Sons Ltd., England.
- KUNZENDORF, H. (1982). *Marine Mineral Exploration*. Elsevier Oceanography Series, 41. Elsevier, Amsterdam, 1982.
- KVENVOLDEN, K. A. (1993): Gas Hydrates - Geological Perspective and global change. *Reviews of Geophysics*, 31: 173 - 178.
- LIU, P. L.-F., ED. (1995): *Advances in Coastal and Ocean Engineering*. Vol. 2, 276 p. World Scientific, Singapore.
- LÓPEZ FERREIRO, A. (1898-1909): Historia de la Santa A.M. Iglesia de Santiago de Compostela. Imprenta de El Seminario Conciliar Central. Santiago. 11 tomos. [Ediciones facsimilares de Sálvora en 1983 y Edinosa en 1994].
- MANSO, F., REY, D., VILAS, F. Y DEMEIJER, R. (2000): Prospección radiométrica de minerales pesados: Caso estudio de la costa gallega. *Geotemas*, 1, (4): 187-190 .
- MILES, R. P. (1995): Potential distribution of the methane hydrate beneath the European continental Margin. *Geophysical Research Letters*, 22 (23): 3179-3182.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1995): *Beach nourishment and protection*. 317 p., National Academy Press, Washington, D.C.
- PARGA PONDAL, I. (1935): Sobre la presencia de arenas monacíticas en la costa gallega. *Boletín de la Academia de CC. Exactas, Físicas y Naturales*, 2: 16-18.

- PARGA PONDAL, I. Y LORENZO, D. (1930): Sobre la presencia de la magnetita y de la ilmenita en las arenas de las playas gallegas. *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, 28: 353-357.
- RIETVELD, H.M. (1969): A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal of Applied Cryst.*, 2: 65-71.
- SACAU RODRÍGUEZ, G. (1998): Os nomes da ría de Vigo. Cabo Silleiro – Berbés. Instituto de Estudos Vigueses. Vigo.
- SARMIENTO, F. M. (1995): Epistolario. Disposto por Xosé Filgueira Valverde e M^a Xesús Fortes Alén. Consello da Cultura Galega. Santiago.
- SORIANO, V. (1928): Arena circonífera de Vigo. *Museo Ciencias Naturales de Barcelona*, 9, num.2.