

RECURSOS MINERALES DEL MAR

C.I. Santana *

SUMMARY

The mineral resources of a determined continental margin are basically associated with the type of margin that contains them. In the case of the Brazilian continental margin and, by extension, the continental margin of eastern South America, mineral resources are associated with the continental margin of diverging or atlantic type. In the particular case of the Brazilian continental margin, the existence of evaporites, sulphur, construction materials, heavy minerals, phosphates and polymetallic nodules is discussed.

INTRODUCCION

Los recursos minerales de una determinada margen continental están básicamente, asociados al tipo de margen que los contiene. En el caso de la margen continental brasileña y, por extensión, de la margen continental del este de la América del Sur, los recursos minerales están asociados a la margen continental del tipo divergente o atlántica.

Viendo el mapamundi (Fig. 1), podemos observar algunos aspectos interesantes, como ser, los continentes se adelgazan hacia el sur; en el polo sur existe un continente y en el norte un océano; las masas continentales parecen estar aproximándose respecto del ártico; en cuanto a las puntas continentales, parecen estar alejándose de la Antártida; los grandes alineamientos transversales van de NE a NW, lo que también tiene su correspondencia en los principales alineamientos estructurales del Brasil, etc. Todos los aspectos tienen que ser comprendidos dentro de un aspecto amplio, pues las formas y los procesos que originaron o que moldearon las actuales márgenes son partes de este contexto global. Así es que la metalogénesis está íntimamente asociada a la Tectónica Global.

CLASIFICACION DE LOS RECURSOS MINERALES

Convencionalmente, los recursos minerales del mar son clasificados en: los contenidos en el agua (ClNa, Br, Mg y agua); los que recubren los lechos oceánicos (como nódulos polimetálicos) o los asociados a los sedimentos más o menos recientes (carbonatos, fosfatos en parte, material de construcción, minerales pesados, etc.) y los de sub-superficie (petróleo, gas, azufre, carbón, etc.). Pueden también ser considerados, de acuerdo con la tectónica de placas en depósitos asociados a la fase pre-rift, (Fig. 2); a la fase rift (Figs. 3 y 4) y a la fase de océano abierto (Fig. 5).

(*) Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM, Rio de Janeiro, Brasil.

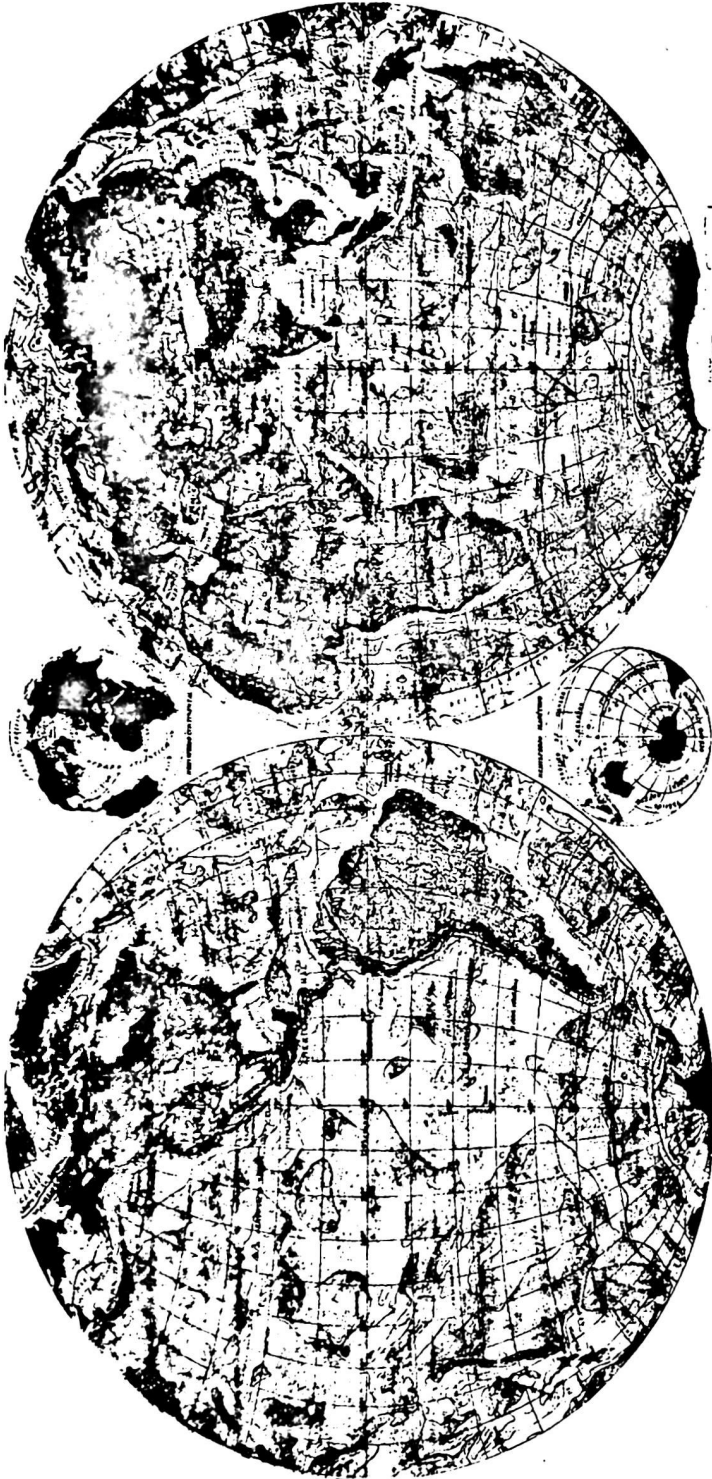


Figura 1.- El mundo físico.



Fig. 2.- Mapa paleogeológico Pre-Siluriano.

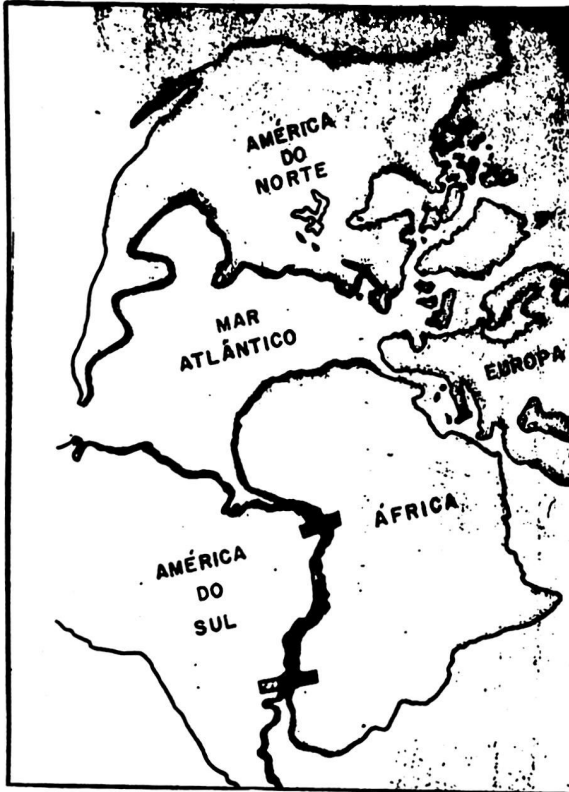


Fig. 3.- Mapa unión geológica de América del Sur y Africa.

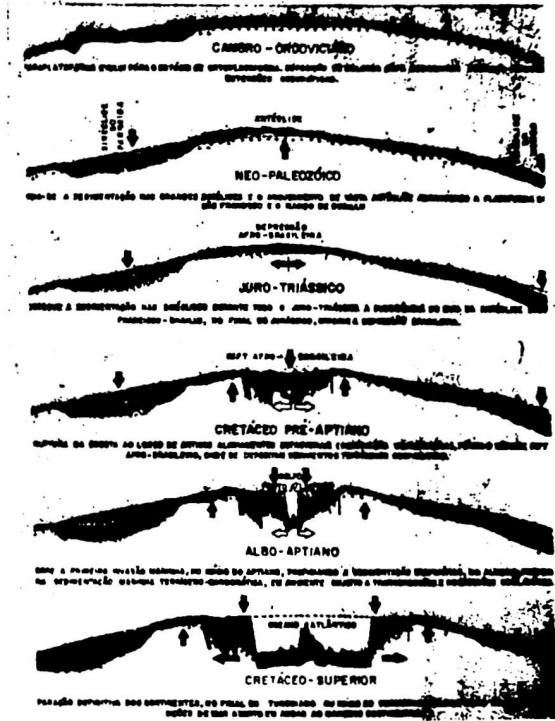


Fig. 4.- Evolución tectónica esquemática de las márgenes continentales del Brasil Oriental y Africa Occidental.



Fig. 5.- Fondo del océano Atlántico

La figura 6, es una simple ilustración; muestra los perfiles de algunas áreas de la plataforma continental brasileña.



Por lo tanto, los depósitos minerales pueden ser correlacionados con las varias etapas de la evolución del rift. De esta manera, se sabe que los yacimientos de tierras raras y niobio se presentan en rocas alcalinas asociadas con la etapa inicial del rif tamiento; los depósitos de plomo-zinc del tipo Mississippi-Valley, y de cobre y uranio sedimentarios están asociados con la fase sedimentaria y los metales del grupo piritita como cobre, hierro, manganeso y zinc se dan en los basaltos oceánicos relacionados con la fase divergente.

En el presente, los únicos recursos minerales que presentan valores reales económicos son de óleo, gas, azufre y de conchas, arenas y depósitos de placas, además de otros depósitos de sub-superficie que están sobre las plataformas continentales en relación específica con los depósitos continentales adyacentes, y los campos de los nodulos polimetálicos que recubren enormes áreas del lecho oceánico.

La figura siguiente, (N°7) muestra los principales tipos de depósitos minerales asociados a los límites de las placas tectónicas que los contienen. Económicamente, los más importantes tipos de depósitos hidrotermales son los sulfuros, en los cuales varios metales se combinan con el azufre, precipitándose de las soluciones hidrotermales. Routhier y Sawkins sostienen que la mayoría de los depósitos de sulfuros del mundo están localizados a lo largo de los límites, de los contactos actuales o de antiguas placas convergentes. Los procesos que originan los depósitos de sulfuros a lo largo de los contactos de las placas convergentes, hasta el momento, son apenas parcialmente comprendidos, envuelven soluciones mineralizantes que emanan de la zona de subducción, cuando la placa litosférica es terminada.

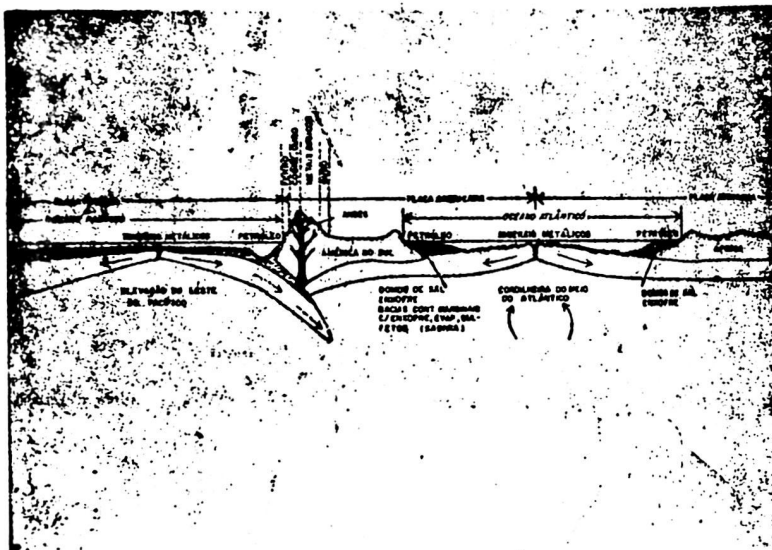


Fig. 7.- Límites de placas y ocurrencias minerales.

Los depósitos de sulfuros metálicos a lo largo del contacto de las placas convergentes, incluyen los depósitos de Kuroko en el Japón, los de Filipinas y los depósitos que se extienden a lo largo de las cordilleras del oeste de los Estados Unidos de América y la América del Sur, desde el este del Mediterráneo hasta el Paquistán. Las existencias de oro, generalmente acompañan estos depósitos. Según Routhier, la mayoría de los depósitos de oro de Alaska, Canadá, sudeste de Estados Unidos de América, California, Venezuela, Brasil, oeste de África, Rhodesia, sur de la India y sudeste y oeste de Australia, se dan en rocas que pueden estar asociadas con antiguos contactos de placas convergentes.

Las placas divergentes (Fig. 8) son formadas por la separación de las placas litosféricas en las porciones centrales de las cuencas oceánicas. El Mar Rojo y la laguna de Chipre en el mar Mediterráneo proporcionan importantes elementos para estudiar el potencial de los depósitos de sulfuros metálicos en las placas divergentes.

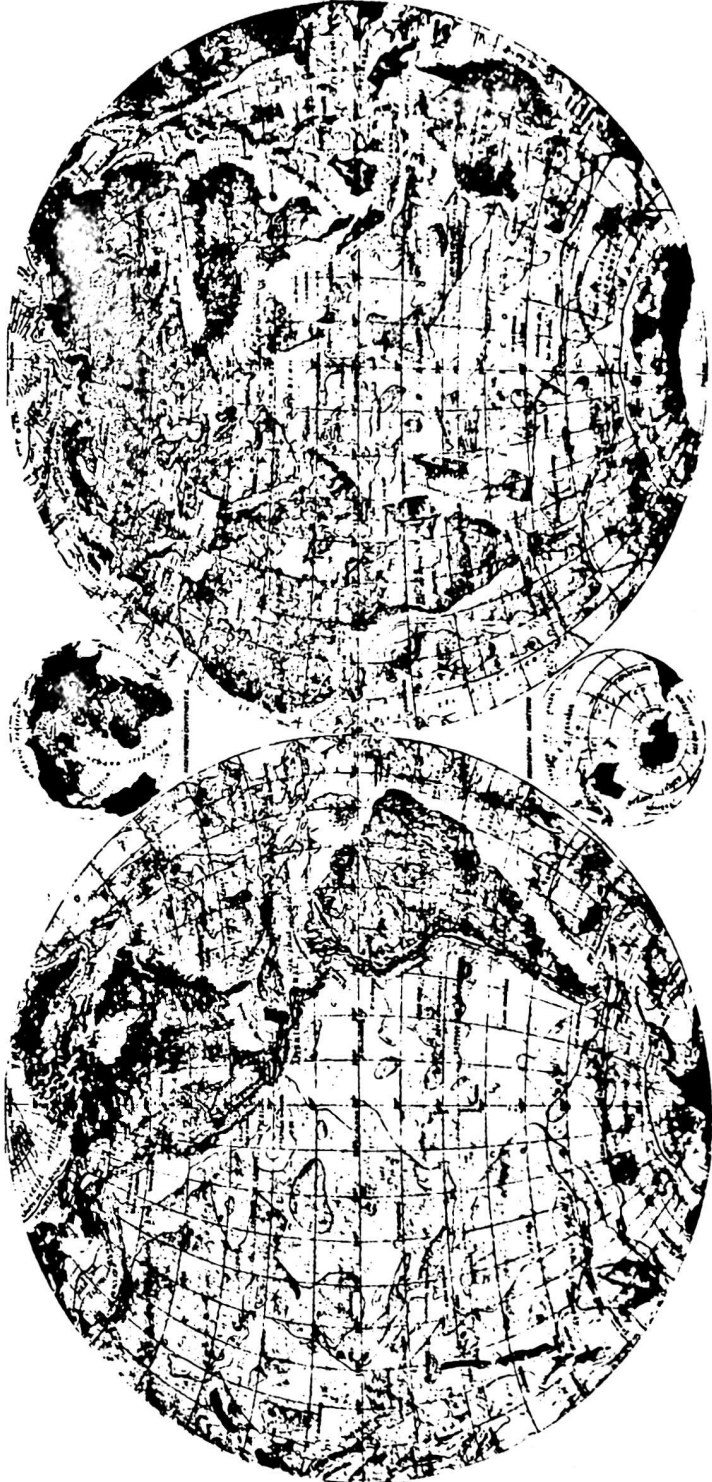


Figura 8.- El mundo físico.

El Mar Rojo que es rift entre la placa africana y la euroasiática, es un laboratorio natural para el estudio de los procesos de minerales asociados con las placas divergentes. En el fin de la década del 60 fueron descubiertos ricos depósitos de sulfuros metálicos submarinos, en tres pequeñas cuencas alineadas a lo largo del centro del Mar Rojo. Los minerales sulfuros están diseminados en sedimentos que rellenan estas cuencas, cuyos espesores varían entre los 20 y los 100 metros. Los primeros 30 metros de los sedimentos fueron explotados por testigos, cuyos valores promedio son: 29% de Fe; 3,4% de Zn; 1,3% de Cu; 1,0% de Pb; 0,005% de Ag y 0,00005% de Au. Los depósitos están sobresaturados de salmueras que cargan los mismos metales en solución. Las salmueras o "salty brines" son consideradas como soluciones hidrotermales a partir de las cuales los minerales sulfurosos son depositados. Existen contradicciones acerca de si las salmueras están siendo enriquecidas por fuentes volcánicas sobre el Mar Rojo o por sedimentos con alto contenido de Cu, V y Zn, que se dan cerca de las cuencas donde los depósitos de sulfuros metálicos fueron encontrados.

El Mar Rojo, representa entonces, al período inicial de crecimiento de una cuenca oceánica. Todavía no se ha demostrado adecuadamente si existen o no, en el sistema de cordilleras meso-oceánicas, concentraciones de sulfuros metálicos semejantes a los del Mar Rojo, en locales a lo largo de sus crestas o en cuencas dispuestas en sus flancos, mas ya existe, entre tanto, un limitado número de muestras que indican que en los procesos hidrotermales, están concentrados activamente metales de fuentes volcánicas, situadas sobre las cordilleras meso-oceánicas activas y que, en general, son enriquecidas por: Fe, Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Cr, U y Hg con trazos de vanadio, cadmio y bismuto.

El Macizo de Troodos en la isla de Chipre es interpretado como un pedazo de cresta oceánica formada por el proceso de "sea-floor-spreading", a partir de una cordillera meso-oceánica que fue posteriormente levantada a la posición actual. La composición y secuencia de las camadas de rocas que constituyen el Macizo de Troodos son las mismas encontradas en el fondo del mar. La composición promedio de un cuerpo mineralizado es: Cu-4,2%; S - 48%; Fe - 43%; Zn - 4% y 0,25 onzas/tonelada de oro y también 0,25 toneladas de Ag. Otros cuerpos tienen 2,12 onzas/ton. de Au y 12,96 onzas/ton de Ag.

Los contactos de placas convergentes son: caracterizados por fosas profundas a lo largo del borde de los continentes. Complementando las fosas oceánicas, cadenas de islas volcánicas se desarrollan a lo largo de los contactos de algunas placas convergentes y se localizan entre las fosas y el continente. Existen muchas cadenas de islas volcánicas de este tipo en la margen occidental del Pacífico, como las islas Aleutianas, Kuriles, Japón, Ryukus, Filipinas e Indonesia. Otras cadenas son: las Marianas, las Sandwiches del Sur y las Indias Occidentales. Las cadenas de islas dividen las cuencas oceánicas en cuencas menores parcialmente cerradas, entre las islas y los continentes. Tales cuencas incluyen el Mar de Bering, el Mar de Okotsh, o el mar del Japón, o el Mar Amarillo y los mares de este y del sur de la China.

Tanto las fosas marginales como las cadenas de islas volcánicas generan un ambiente con condiciones favorables para la acumulación de petróleo. Así, las fosas y los arcos de islas actúan como barreras que retienen y atrapan los sedimentos y la materia orgánica provenientes del continente y de la cuenca oceánica; la forma de las fosas y de las pequeñas cuencas oceánicas limitan la circulación del océano de modo que el oxígeno no es completamente renovado por las aguas del mar y la materia orgánica es preservada. También la acumulación de los sedimentos y las estructuras sobre la acción de las fuerzas tectónicas que allí ocurren, producen reservorios y trampas para la acumulación de petróleo. Hedburg cree que estas cuencas marginales semi-cerradas constituyen una de las áreas más promisorias para la acumulación de petróleo.

El desenvolvimiento de las placas divergentes puede también crear un ambiente favorable para la acumulación de óleo. Cuando un límite de placas divergentes comienza un mar se forma en el rift resultante y los continentes circundantes actúan como barreras que restringen la circulación del mar. Como resultado, la materia orgánica preservada y si la evaporación del agua del mar es superior a la re-acumulación, camadas de sal comienzan a ser depositadas juntamente con la materia orgánica. A medida que los continentes se mueven, apartándose cada vez más al mismo tiempo que el fondo del mar va destruyéndose, el mar restringido pasa al estado de océano abierto. Las camadas de materia orgánica y sal son entonces cubiertas por los sedimentos que van depositándose allí.

La materia orgánica se transforma en petróleo y la sal tiende a formar los domos que actúan como trampas para los óleos.

Como fue dicho, el Mar Rojo es un ejemplo de un mar restringido formado en la etapa inicial del desenvolvimiento de placas divergentes. Camadas de sal con grandes espesuras y materias orgánicas son allí encontradas. A lo largo de las márgenes continentales de América del Norte, del Sur y del Africa han sido encontrados domos de sal.

ALGUNAS EXISTENCIAS MINERALES DE LA MARGEN CONTINENTAL BRASILEÑA

Evaporitos

La figura siguiente (Nº9) muestra una sección con domos de sal a lo largo de la costa del estado de Espirito Santo, al este de Brasil. La próxima figura (Nº10) muestra todavía una sección esquemática del Domo 9-CPRM (Cia. de Pesquisa de Recursos Minerais) visualizando la exploración del azufre en la roca de cobertura (capeadora) y a la tomada de muestras de la halita contenida en el seno del domo. En este domo roca de cobertura no estaba desarrollada y no fue encontrado el azufre.

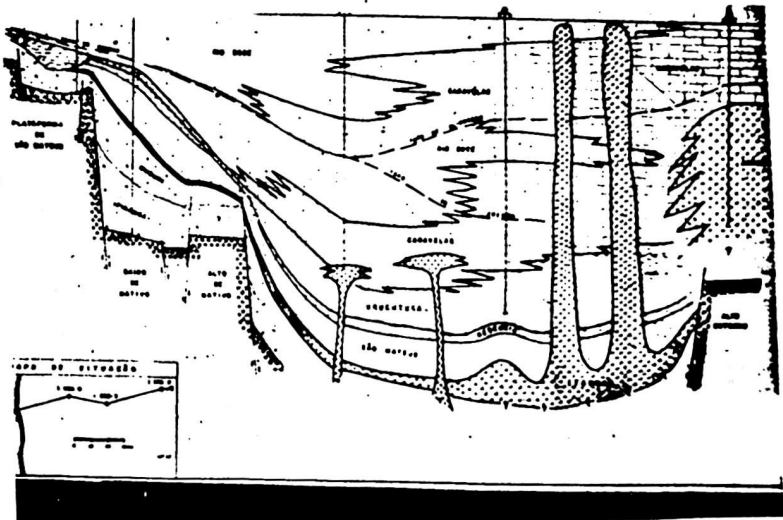


Fig. 9.- Plataforma continental brasileña.

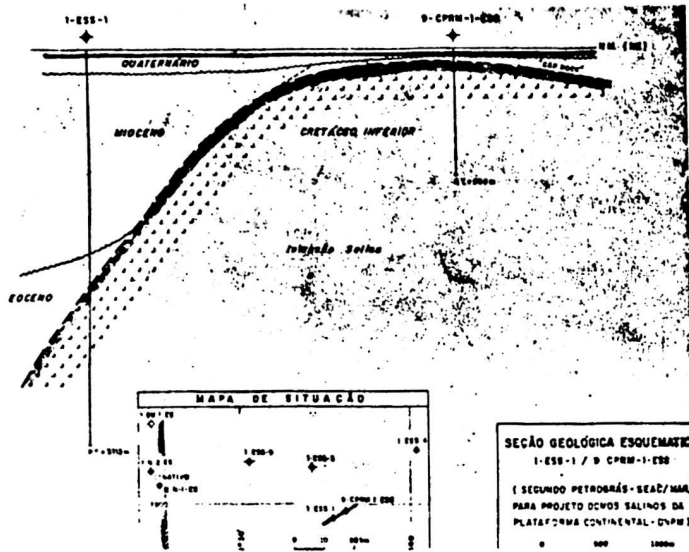


Fig. 10.- Sección geológica esquemática.

La próxima figura, (N°11) muestra niveles de sal de potasio en la plataforma a lo largo del estado de Sergipe, y la siguiente figura, (N°12), otro domo en la costa de Espirito en la región fronteriza a la fosa del río Dulce (río Doce), con la roca de cobertura probablemente bien desarrollada y, por lo tanto, con posibilidades de conter azufre, ya que existen otros parámetros favorables para su ocurrencia, también presentes en la región.

En 1972, geólogos de la CPRM realizaron un estudio sobre las posibilidades de existencia de azufre en los domos de las costas de los estados de Espirito Santo y Bahía. De los 21 domos estudiados, fueron seleccionados tres para su posterior perforación. La selección de los pozos se basó en la presencia de fuertes reflexiones en el tope del domo, rocas permo-porosas circundantes al domo y en la presencia de hidro carbonatos en el área, aparte de otra serie de parámetros también considerados. Como se sabe, la presencia de azufre en las rocas de cobertura de los domos es resultante de la reducción de la anhídrita para gas sulfúrico, sobre la acción de bacterias y de la subsiguiente oxidación de H₂O que reacciona con iones adicionales de sulfato para liberar el azufre, que puede entonces ocupar los espacios vacíos dejados por el carbonato de calcio, formado en la reacción inicial.

La anhídrita presente en las rocas de cobertura se forma por la concentración y cementación de los residuos insolubles del núcleo de sal, debido a la lixiviación de la halita por la circulación de aguas sub-superficiales en el tope del domo, cuando este penetra en las rocas permo-porosas.

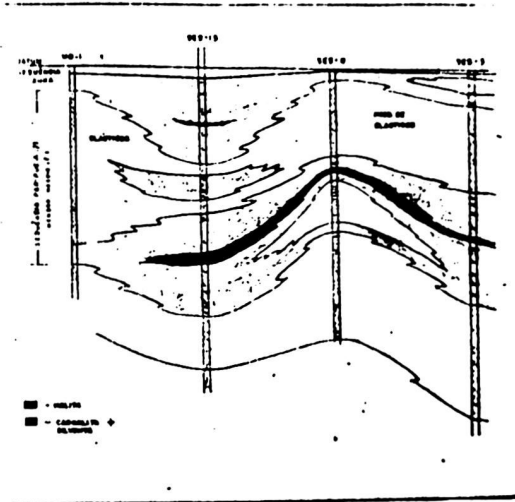


Fig. 11.- Sales de K y Mg en plataforma continental de Sergipe sacado del proyecto de evaporitos ejecutado por PETROBRAS.

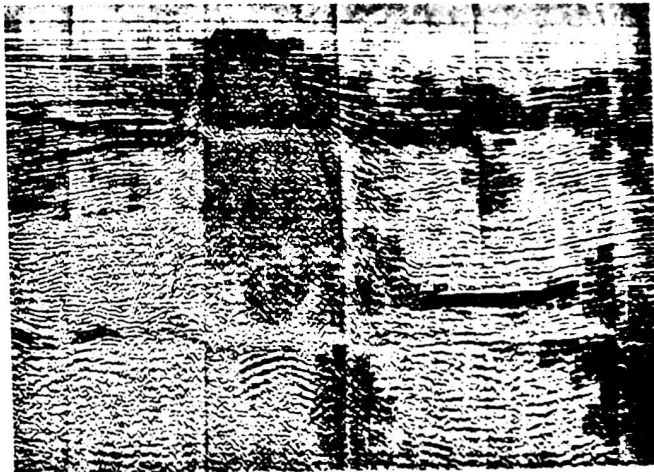


Fig. 12.- Domo en la costa de Espírito Santo.

La próxima figura (N°13) muestra algunas cuencas brasileñas donde podrán ser hallados depósitos de azufre del tipo estratiforme, a ejemplo de los que se dan en la formación Castillo en el oeste de Texas, Estados Unidos de América.



Fig. 13.- Algunas cuencas brasileñas donde podrán ser hallados depósitos de azufre del tipo estratiforme.

1. Foz do Amazonas
2. Barreirinhas
3. Sergipe-Alagoas
4. Camamú
5. Espírito Santo
6. Santos
7. Pelotas

La siguiente figura (N°14) muestra algunos alineamientos estructurales en el Brasil, sobresaliendo el hecho de que los alineamientos pre-cámbricos contribuyeron a la morfología de la línea de costa resultante del riftamiento ocurrido en el cretácico. Un ejemplo es la formación del rift del Recôncavo/Tucano/Jatobá que, probablemente del Aptiense hasta el Barremiano, debe haberse constituido en el rift principal, cuando fue entonces abandonado debido a su intersección con las fallas de Floresta y Cabo en el nordeste del Brasil. Estas fallas de sentido general este-oeste modularon la ex tremidad norte de la cuenca formando el apéndice de Jatobá. Esta cuenca, típicamente resultante del riftamiento, fue la primera productora de petróleo en el Brasil y actualmente la CPRM realiza estudios enfocando la exploración de vanadio, ya que allí fueron encontradas importantes cantidades de este metal en arenitas jurásicas, o sea anteriores al rift, mas hoy encajadas dentro de él. Los depósitos de vanadio que gene ralmente están asociados al uranio y al cobre deben haberse formado juntamente en la fase rift.



Fig. 14.- Cota batimétrica de 200 m.

Carbón

La próxima figura (N°15) muestra el comportamiento de las isópacas de las cam - das de carbón, llamadas "barro branco", presentes en la cuenca del Paraná, en el lito - ral sur del Brasil, en el estado de Santa Catarina y que se prolongan plataforma adentro.

Estando estas camadas barro branco, constituídas por uno de los mejores tipos de carbón encontrados en el Brasil, los depósitos que deben estar sobre la plataforma fronteriza del estado de Santa Catarina revestirán especial interés, una vez que, probablemente, puedan ser explotados a partir del continente. Estudios intensivos vienen realizándose por la CPRM, y actualmente la Universidad Federal del Estado de Río Grande do Sul, por medio de su Centro de estudios Costeros y Oceanográficos - CECO, planea realizar un proyecto en el área de la plataforma donde dichas camadas deben estar presentes.

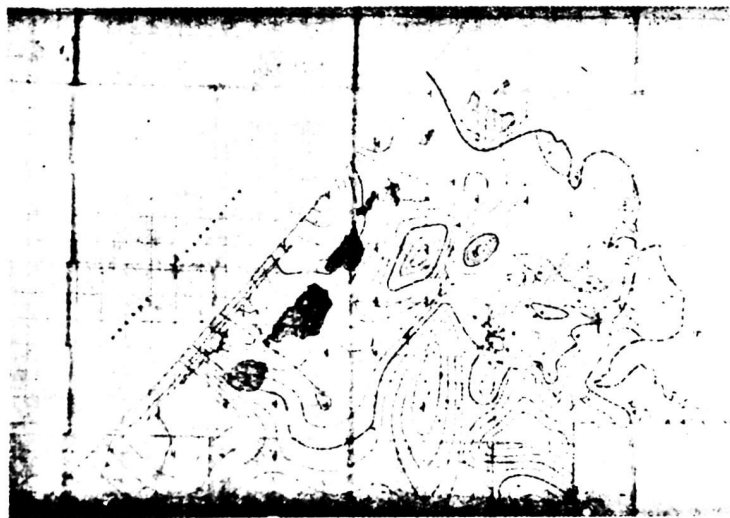


Fig. 15.- Isópacas de las camadas de carbón llamadas "barro branco", cuenca del Paraná.

Material de construcción (figura 16)

Estudios efectuados por Amaral, 1976, resaltan los materiales de construcción re presentados por las arenas y cascajos como los más importantes recursos minerales de la Margen Continental Brasileña, quizás después del petróleo y la pesca. En 1972, la producción brasileña total fue de 2 millones de toneladas. Considerándose con un espe sor promedio de 5 metros de arena y cascajo con menos de 20% de siltitos y arcillas, la reserva estimada es de 4×10^{11} ton., más de 2000 veces las reservas conocidas en tierra en el Brasil.

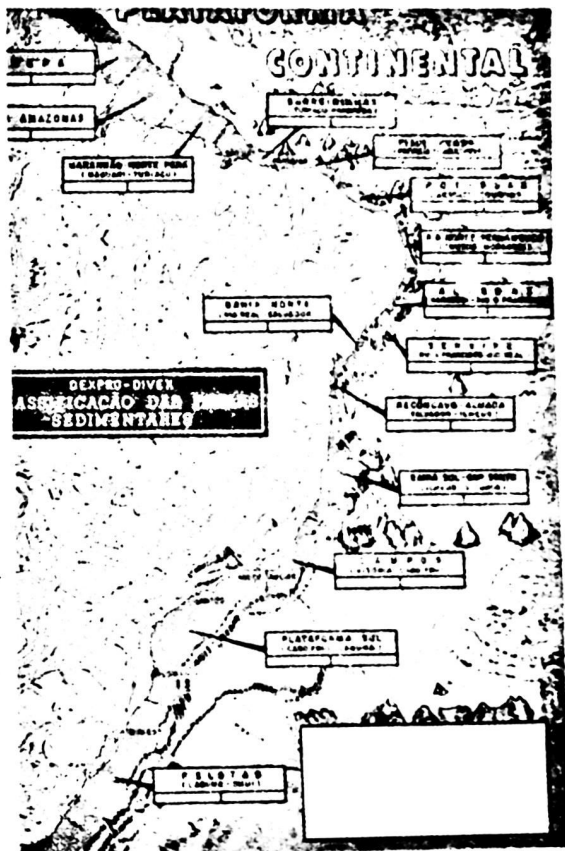


Fig. 16.- Plataforma continental - Dexpro-Divex. Clasificación de las fajas sedimentarias.

Carbonatos

En 1977 la producción de calcáreo explotado en la parte continental del Brasil alcanzó a cerca de $1,9 \times 10^6$ toneladas y esto representa cerca de, aproximadamente, 0,5% de las reservas conocidas en tierra. Su importancia en el país es naturalmente creciente y cada vez más importante, debido a su aplicación en la industria del cemento y como correctivo de suelo en agricultura.

En nuestra margen continental los sedimentos ricos en carbonatos predominan en la plataforma nordeste y en la sudeste hasta Cabo Frío, contienen más de 75% de CaCO_3 . Considerando para estos depósitos, un espesor promedio de 5 m., ella representa una reserva de 2×10^{11} ton., o sea, más de 50 veces la reserva estimada en el continente.

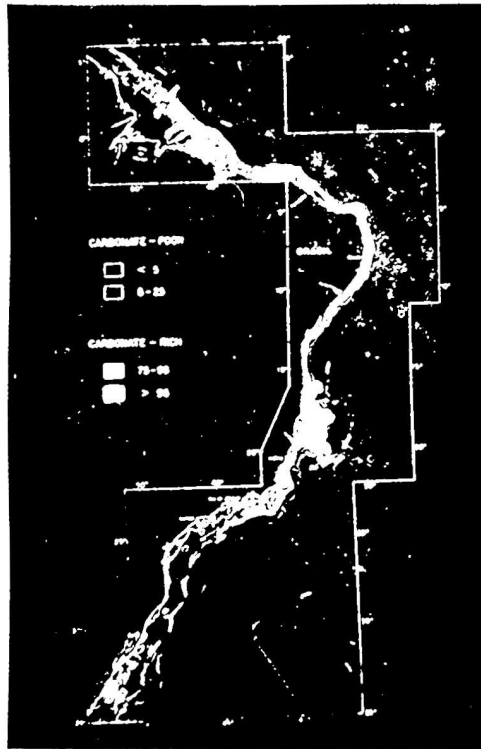


Fig. 17.- Carbonato - pobre. Carbonato - ricc.

En el litoral de los estados de Alagoas, Pernambuco y Paraíba, en el nordeste brasileño, existía una pequeña industria extractiva de estos arrecifes. Los trabajos actualmente están paralizados hasta que se realicen estudios que definan si la extracción de los cordones de arrecifes puede dañar la morfología de la costa y la fauna allí presente, ya que la pesca en aquella región constituye una importante fuente de ingresos y mano de obra para la población local.

En 1976 la CPRM realizó estudios en el área y propuso la ejecución de un proyecto integral para la región, a fin de determinar la reserva de los depósitos y definir si la fauna y la morfología de la costa podrían ser afectadas.

En términos de composición, se dan allí dos tipos de sedimentos carbonatados, uno compuesto de algas coralíneas, que contienen cantidades menores de briozoos, moluscos y foraminíferos; y otro en el que predominan esqueletos de Halimeda, constituidos de aragonita.

Otros depósitos carbonatados son los que existen a lo largo de Albardão en el litoral del estado de Rio Grande do Sul y los que hay en Bahía de Todos os Santos en el estado de Bahía y que son inclusive explotados para la industria del cemento. Otros depósitos de conchas también explotados son los de laguna de Araruama en el litoral del estado de Rio de Janeiro.

Minerales pesados (figura 17)

Los minerales pesados, por las oscilaciones del nivel del mar en el Cuaternario, encontrados junto a los resurgimientos del litoral, favorecieron al retrabajado de la Formación Barreiras, concentrándose en las playas y cordones arenosos del litoral, principalmente en el litoral sudeste y este del Brasil.

En general, las arenas de nuestra plataforma continental contienen menos del 2% de minerales pesados y en pocas áreas éstos están presentes en cantidades mayores de 4% en la fracción arena. La mayor concentración registrada por el Proyecto REMAC ocurrió en un depósito de un canal antiguo frente al río Amazonas superando el 28% de las fracciones 125/250 microns. Con todo, estas fracciones contienen en su mayoría hematita "Coated" y hornblenda, que no tienen ningún valor comercial. Los más importantes depósitos son las arenas de placas de las playas y plataformas internas adyacentes, de las regiones NE, SE y S, principalmente al SE entre el estado de Rio de Janeiro y Porto Seguro. Según Oliveira y Leonardos, las reservas totales de minerales pesados en el litoral sobrepasan las $1,3 \times 10^6$ ton. Los minerales principales incluyen illmenita, rutilo y zircón.

La CPRM ejecutó proyectos para la CNEN - Comisión Nacional de Energía Nuclear- en los litorales de los estados de Bahía y Espirito Santo y también hizo estudios y ante proyectos en toda la faja sumergida y no sumergida de estos dos estados. El CECO de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, también realizó estudios en el litoral sur y USP -Universidad de São Paulo- en el litoral sudeste.

Fosfato (figura 18)

Las principales existencias están en el nordeste brasileño.

En recientes dragados efectuados por el Proyecto REMAC en el flanco oeste del Plateau de Ceará, se obtuvieron rocas con más de 13% de P_2O_5 y los núcleos de algunos nódulos polimetálicos del Plateau de Pernambuco contienen cantidades todavía mayores, llegando a alcanzar también en Ceará hasta 29% de P_2O_5 .

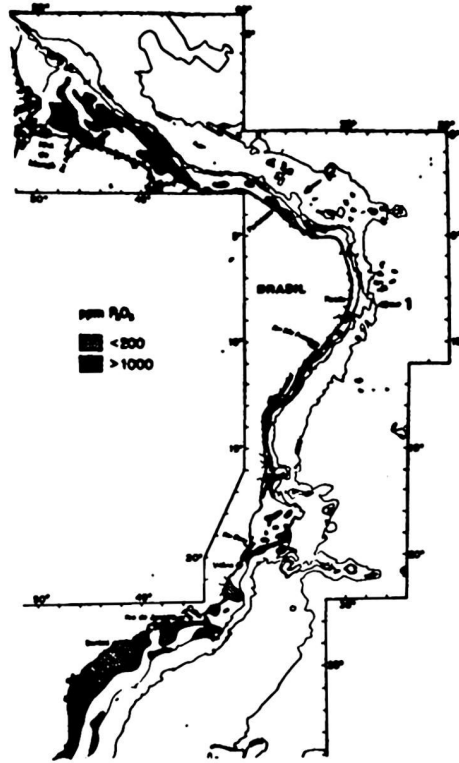


Fig. 18.- Existencia de fosfato en el nordeste brasileño. ppm P_2O_5 .

Nódulos polimetálicos

También conocidos como nódulos de manganeso, recubren vastas áreas del suelo oceánico, principalmente del Pacífico. Se han registrado existencias también en el Atlántico, y en la costa brasileña fueron recuperados nódulos y crestas manganíferas de los flancos de la elevación de Rio Grande, en la costa sur, en los flancos y en los Plateau de Pernambuco y Ceará, en el nordeste brasileño. Los análisis indicaron concentraciones relativamente altas de Mn, Fe y Ni y mayor contenido de Co. Los nódulos recuperados en el nordeste brasileño, generalmente tienen núcleos de fosfato.

Oro

Las existencias de oro conocidas en el litoral del estado de Maranhão, al norte de Brasil, deben prolongarse plataforma adentro. Muchas pepitas ya fueron encontradas

allí y siendo aquel litoral típico de una región costera de ahogamiento, es de esperar que haya concentraciones en el área sumergida. En el continente hay tanto oro primario como secundario. Las existencias de la región de Gurupí parecen correlacionarse con las conocidas en las Guayanas y, probablemente, por lo menos hasta el Jurásico, debió existir una gran provincia aurífera que abarcaba el Gurupí, las Guayanas y la región de Ghana y Togo en Africa.

Recursos del agua

Los recursos contenidos en el agua del mar son vastos e incalculables. El sodio y el cloro constituyen más del 80% de la concentración total de elementos contenidos en el agua del mar y los 9 elementos más abundantes suman más de 90% del total disueltos. Son estos: ion cloro 54,8%; ion sodio 30,4%; ion sulfuro 7,5%; ion magnesio 3,7%; ion calcio 1,2%; ion potasio 1,1%; ion carbonato 0,3%; ion bromo 0,2% e ion boro 0,07%.

La sal común (Cl Na), el bromo, el magnesio y la propia agua dulce ya son extraídos económicamente del agua del mar en más de 60 países.

BIBLIOGRAFIA

- Amaral, C.A.B., Vicalvi, M.A., Barreto, L.A., Santana, C.I. (1972): "Recursos Minerais da Margem Continental Brasileira". XXVI Cong. Bras. de Geol., Belém.
- Amaral, C.A.B. et al. (1974): "Economic Potential of Brazilian Continental Margin Sediments". XXVIII Cong. Bras. de Geol., Porto Alegre.
- Asmus, H.E. y Porto, R. (1972): "Classificação das Bacias Sedimentares Brasileiras Segundo a Tectônica de Placas". XXVI Cong. Bras. de Geol. Belém.
- CPRM (1975): "Anteprojeto Enxofre na Plataforma Continental". Divisão de Geologia Marinha - Interno.
- CPRM (1976): "Anteprojeto Enxofre Elementar na Bacia Evaporítica do Espírito Santo" Parte Emersa. Divisão de Geologia Marinha - Interno.
- CPRM (1976): "Anteprojeto Enxofre na Bacia Evaporítica de Sergipe". Divisão de Geologia Marinha - Interno.
- CPRM (1976): "Anteprojeto Pláceres Auríferos no Litoral do Gurupí". Divisão de Geologia Marinha - Interno.
- CPRM (1976): "Anteprojeto Minerais Pesados na Costa do Espírito Santo". (Emersa e Imerisa). Divisão de Geologia Marinha - Interno.
- CPRM (1976): "Anteprojeto Calcário da Plataforma Continental e Zona Litorânea de Pernambuco". Divisão de Geologia Marinha - Interno.
- CPRM (1976): "Anteprojeto Cobre-Vanádio e Fosfato nas Bacias de Tucano-Jatobá". Divisão de Geologia Marinha - Interno.
- Olade, M.A. (1976): "Global Tectonics and Metallogeny of Intracontinental Rifts and Aulacogens". 25º Congreso Internacional de Geología, Australia.
- Ponte, F.C. et alii (1972): "Análise Comparativa de Paleogeologia dos Litorais Atlânticos, Africano e Brasileiro". Petrobrás, CPEG - IV Interno.
- Rocha, J.M. (1973): "Domas de Sal e Possibilidades de Enxofre - Plataforma Continental Bahia-Sul/Espírito Santo". CPRM (Projeto REMAC), Rel. Interno.
- Rona, P.A. (1973): "Plate Tectonics and Mineral Resources"
- Routhier, R. (1976): "Global Tectonics and Metallogenic Provinces - The Example of Europe". 25º Congreso Internacional de Geología, Australia.
- Santana, C.I. (1977): "Enxofre na Plataforma Continental". CPRM, Rel. Interno.
- Santana, C.I. (1978): "Mineralização de Vanádio na Formação Sergi - Bacia de Tucano". CPRM - Contrib. Técnico DEGEO - 001/78 - Interno.
- Silva, P.M. (1977): "O Oceano Como Fonte de Minerais". IPQM Rel. Interno.