

PERSPECTIVA DE LA MINERÍA SUBMARINA*

Carlos Quiñones López**
Contraalmirante

INTRODUCCION

En las últimas décadas nuestro conocimiento geológico de los océanos se ha incrementado en forma impactante. Esto, como resultado de la amplia labor de investigación de los fondos marinos efectuada por muchos países, utilizando una gran variedad de nuevos instrumentos y nuevas técnicas. No cabe duda alguna de que la historia habrá de reconocer esta etapa como una de las grandes eras de exploración de nuestro planeta.

En el filo de este conocimiento nada resultó más paradójal que comprobar que los fondos marinos son más jóvenes que los océanos mismos. Bajo las aguas mil veces milenarias, las rocas y sedimentos se renuevan constantemente. En la parte central de los océanos yace una montaña casi continua de más de 75 mil kilómetros de extensión y varios cientos de kilómetros de ancho, con un valle en su centro e interrumpida por numerosas fracturas. Observaciones y mediciones magnéticas, térmicas y sísmicas han demostrado que desde el centro de esa montaña brotan

nuevas rocas, que lentamente se desplazan junto con la corteza terrestre.

En algunos casos la corteza se mueve como un todo con los continentes adyacentes y en otros choca con ellos sumergiéndose, formando una fosa y desapareciendo hacia el interior de la Tierra.

La grandiosidad de esta hipótesis del desplazamiento de los fondos oceánicos ha maravillado a las nuevas generaciones. Estamos en un proceso de revolución de la Geología, tan abismante como el que experimentó la Física en 1890 y como el que hoy experimenta la Biología.

Este movimiento de la corteza, manto superior o litósfera terrestre, ha originado la teoría tectónica global de placas.

Alrededor de una docena de placas grandes y numerosas placas pequeñas han sido identificadas por los científicos. Ellas viajan a diferentes velocidades y en diversas direcciones, como si flotaran sobre la astenósfera o magma subyacente.

* Conferencia dictada el 18 de mayo de 1982.

**Ex ministro de Minería.

Como resultado de los procesos de desplazamiento de las placas tectónicas, la forma y tamaño de la cuenca de los océanos y la posición relativa de los continentes han estado experimentando permanentes cambios en cientos de millones y posiblemente miles de millones de años.

Millones de años atrás el Océano Atlántico no existía. Se empezó a formar hace alrededor de ciento ochenta millones de años y continúa creciendo a razón de tres centímetros al año. A su vez, el Océano Pacífico disminuye su tamaño a medida que el Continente Americano (norte, centro y sur) se desplaza hacia el oeste.

Todos los continentes se están trasladando. El más espectacular de estos desplazamientos lo ha experimentado la India, desde una posición en pleno hemisferio sur a su actual ubicación en el hemisferio norte, en el transcurso de cien millones de años.

LA FORMACION DE MINERALES

El movimiento de las placas crea en los márgenes de ellas zonas de translación paralelas, zonas de encuentro o convergencia y zonas de separación o divergencia.

En las márgenes donde las placas o cortezas se desplazan paralelamente, una respecto de la otra, existe normalmente poco volcanismo y pueden presentarse inyecciones de magma o lava en pequeña escala, con escasa formación de minerales.

En las zonas de encuentro o convergencia, tales como en la costa occidental de América central y sur y costa oriental del Asia, una placa está siendo empujada y obligada a meterse debajo de la otra. Las fuerzas generadas

durante el proceso de subducción crean una fosa, causando también una alteración de los sedimentos continentales depositados en ella. Allí las fuerzas tectónicas asociadas producen trampas ideales para la formación de petróleo y de yacimientos de minerales.

Los procesos de mineralización aún no pueden explicarse científicamente. Se piensa que los metales son destilados de la corteza oceánica durante la subducción, y transferidos a la corteza continental. La parte sur del Perú, norte de Chile y suroeste de Estados Unidos, pueden ser interpretadas como regiones que parecen haber sido mineralizadas de esta manera, formando grandes yacimientos de cobre porfídico.

Los márgenes de separación o divergencia de las placas tectónicas son ahora el centro de las investigaciones geológicas. Este interés aumentó vivamente con el hallazgo de un rico fango metalúrgico en el fondo del Mar Rojo, en cuyo eje longitudinal se está produciendo la separación de la Península Arábiga, del Continente Africano. A lo largo de esta línea surge el basalto para llenar el espacio vacío, produciendo transferencia de calor y transporte de sustancias minerales desde el fondo de la zona de divergencia al mar circundante. Las filtraciones de agua de mar que se producen por fisuras paralelas se encuentran con los componentes metálicos, lixiviándolos y precipitando su contenido en su encuentro con el agua más fría. En algunas de las fosas más cerradas y profundas, ha sido posible encontrar acumulaciones de sedimentos ricos en zinc, cobre y plata.

El éxito del Mar Rojo ha originado una intensa búsqueda de fenómenos similares en la cordillera del Pacífico oriental, donde el fenómeno de separación se produce a razón de diez centímetros por año, la igual que en otras cordilleras transversales que mencionaremos más adelante.

DEPOSITOS DE MINERALES EN EL MAR ROJO

Todo se inició con el registro de altas concentraciones de salinidad y elevadas temperaturas a grandes profundidades y en las cercanías del fondo, al comienzo de la década del 40. Se continuó en 1963 con la obtención, por un buque de investigación inglés, de las primeras muestras de fango metalífero.

En 1967 fueron ubicadas cuatro fosas en el Mar Rojo, que contenían yacimientos minerales. Estos descubrimientos despertaron un interés económico, por cuanto algunos de ellos no sólo contenían hierro y manganeso, sino también zinc, cobre y plata. El mayor de ellos fue denominado Atlantic II, en reconocimiento al nombre del buque que efectuó el descubrimiento.

En 1969 empezó la participación de Preussag y de otros socios internacionales, para la evaluación de los recursos. Dado la importancia de éstos para la industria alemana, se decidió adquirir el *Valdivia*, un buque de investigación especialmente equipado para labores de prospección. Los primeros trabajos de reconocimiento fueron efectuados en 1971 y continuaron con otro crucero que incluyó el lecho oceánico del Golfo de Adén. Ambas campañas dieron por resultado el descubrimiento de una docena de nuevas fosas en el Mar Rojo, que contenían ricos depósitos metalíferos, pero ninguno en el Golfo de Adén. Aun así, Atlantic II continuó siendo el mayor yacimiento.

Dicho yacimiento está ubicado en el centro del Mar Rojo, entre Puerto Sudán y Jeddah, y tiene una profundidad máxima de 2.200 metros. Sus últimos doscientos metros consisten en una salmuera saturada a 60 °C. Los sedimentos de interés forman una capa de once metros de espesor, sobre una rugosa superficie de roca basáltica. Los depósitos de fango estratificado muestran un frecuente cambio de facies mineralizadas con láminas individuales

que contienen hasta 60% de hierro, 30% de manganeso y 20% de zinc. El área de la fosa mide 10 por 5,5 kilómetros, aproximadamente 55 kilómetros cuadrados. El fango seco, libre de sal, contiene alrededor de 2% de zinc, 0,5% de cobre y 90 gramos de plata por tonelada. Los volúmenes de los metales de mayor valor en Atlantic II cuantifican de dos a tres millones de toneladas de zinc, casi medio millón de toneladas de cobre y diez mil toneladas de plata.

Entre los años 1974-75, los Estados de Arabia Saudita y Sudán acordaron una zona de explotación común del fondo marino en la parte central del Mar Rojo, para los efectos de su exploración y eventual explotación conjuntas. Con ese propósito crearon la Comisión Saudi-Sudanesa del Mar Rojo. En 1976, asignaron a Preussag la calidad de Contratista General para efectuar la evaluación de los depósitos de minerales en la fosa Atlantic II.

A partir de entonces se realizó un programa altamente diversificado, incorporando varios expertos y diferentes compañías como subcontratistas. Fueron abarcados los siguientes trabajos y áreas de desarrollo: explotación adicional, con énfasis en el muestreo; desarrollo de la tecnología minera; estudios de flotación y de metalurgia para la concentración y extracción de metales, estudios y programas de larga duración para evaluar los posibles efectos de la minería en el medio ambiente. Se efectuó dos cruceros (MESEDA 1 y 2), que combinaron una amplia gama de estudios ambientales utilizando el nuevo B/M *Sonne*, en 1977, y el *Valdivia*, en 1979.

Lo más sobresaliente del programa fue la realización, en 1979, de una prueba prepiloto de minería. Sus objetivos fueron investigar la posibilidad de bombeo de las salmueras desde las profundidades de Atlantic II hasta la superficie, y la factibilidad de realizar el proceso de concentración de los minerales a bordo de un buque. El tercer objetivo consistió en monitorear los efectos de la deposición de los relaves.

Las pruebas efectuadas con el buque de posicionamiento dinámico, *Sedco 445*, demostraron la factibilidad técnica del proyecto. Durante un período de pocas semanas fueron bombeadas quince mil toneladas de agua de mar, salmuera y barro a través de una tubería de cinco pulgadas de diámetro. Se flotó dos mil toneladas de concentrados y se analizó químicamente cuatro toneladas. El concentrado obtuvo un 40% de zinc con buenos valores de plata y cobre. El trabajo ha continuado en el área metalúrgica, para preseleccionar los procesos de extracción más eficientes y económicos.

Las perspectivas del proyecto son las siguientes: una vez confirmada la factibilidad económica serán efectuados los preparativos para realizar una prueba de minería piloto, en 1982-83. De ésta y de la operación de una planta metalúrgica piloto se espera obtener información suficiente que permita tomar una decisión antes de proseguir con el diseño de una planta comercial. Se estima que la producción anual de una planta alimentada de concentrados de Atlantic II sería del orden de sesenta mil toneladas de zinc, diez mil toneladas de cobre y ciento veinte toneladas de plata.

LOS SULFUROS POLIMETALICOS

Las investigaciones en busca de yacimientos de formación reciente, similares a los del Mar Rojo, permitieron el hallazgo de un rico depósito de minerales hidrotermales submarinos.

En agosto de 1981, el doctor Alex Malahoff, de la Oficina de Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica (NOAA), del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, anunció el descubrimiento de un extenso y riquísimo yacimiento de sulfuros polimetálicos en las cercanías de las Islas Galápagos.

El descubrimiento de las fumarolas submarinas y de sus depósitos hidrotermales ha sido posible gracias a la exitosa introducción de dos nuevas tecnologías: el Sea Beam, un sistema de ecosonda de emisores y receptores múltiples, que es capaz de detectar en el fondo del océano alturas de cinco metros, a una profundidad de 3.500 metros; y los sumergibles *Alvyn*, de Estados Unidos, y *Cyana*, de Francia.

Los sulfuros polimetálicos se presentan en estructuras en forma de chimenea, cuya altura varía de unos pocos hasta cien o más metros. Por el interior de dichas chimeneas fluye agua a temperaturas de hasta cuarenta grados centígrados, que contiene minerales disueltos. El chorro de agua caliente se encuentra con el agua exterior del océano circundante, que está a temperaturas de alrededor de dos grados centígrados, produciéndose la presentación de los minerales sobre el fondo o la formación de la chimenea característica. Se ha encontrado estructuras activas e inactivas. Hay dos tipos de estructuras activas: unas con flujo de agua caliente y otras con flujo de agua fría. Las primeras lanzan al exterior un agua ennegrecida por el contenido de precipitados de sulfuros, y de las segundas brota un agua fría y cristalina.

Las chimeneas o fumarolas están en el fondo de fallas geológicas y adyacentes a áreas de actividad volcánica. Las hipótesis actuales atribuyen la formación de los sulfuros a zonas de expansión (áreas en las cuales se forman nuevas cortezas oceánicas), con velocidades de estiramiento intermedias y rápidas de seis a dieciséis centímetros por año. Se estima que habría trece mil kilómetros de regiones de expansión rápida e igual cantidad de regiones de estiramiento lento, ubicadas en las zonas de fisuras y fallas geológicas.

Es en la región que tiene velocidades de expansión intermedias a rápidas, en donde se espera encontrar los mayores depósitos de sulfuros polimetálicos.

La Cordillera de Juan de Fuca

En septiembre de 1981, la Oficina de Estudios Geológicos de los Estados Unidos descubrió un depósito de sulfuro polimetálico a doscientos cincuenta millas al oeste de Astoria, Oregon, en una profundidad de dos mil doscientos metros de agua. Fueron ubicadas seis fumarolas inactivas. Los análisis químicos preliminares mostraron concentraciones de: zinc, 30-45%; hierro, 8-22%; cobre, 0,24-0,32%; plomo, 0,18-0,25%; plata, 124-290 ppm.

Algunas zonas de expansión rápida son: Juan de Fuca; las cordilleras de Gorda y Galápagos; la Cuenca de Guyamas (Baja California); la elevación del Pacífico oriental, a 21° N de latitud; el arco de las Islas del Pacífico, al norte de Nueva Zelanda; las montañas submarinas de Loihi, al sur de Mona Loa en Hawaii; la meseta Fiji y el Mar de Bismarck en Nueva Guinea; y la cordillera chilena frente a la Península de Taitao.

En la actualidad hay tres áreas que han sido exploradas: la elevación del Pacífico oriental, en latitud 21° N, el Centro de Expansión de las Galápagos y la Falla de San Juan de Fuca.

La elevación del Pacífico oriental, en latitud 21° N

Ha sido explorada por dos grandes expediciones: en 1978, por Cyamex (Estados Unidos-Francia-México), que encontró fumarolas inactivas con depósitos de minerales; y en 1979 por el grupo RISE, que encontró fumarolas activas con agua caliente. La extensión del área que contiene las fumarolas activas es de alrededor de siete kilómetros de largo, de doscientos a trescientos metros de ancho y a 2.600 metros de profundidad de agua. Los análisis químicos de los depósitos de las fumarolas inactivas muestran las siguientes concentraciones: zinc, hasta 50%; cobre, 6%;

plata, 0,05%, con vestigios de cobalto, plomo, cadmio, manganeso, calcio y potasio.

El Centro de Expansión de las Galápagos

Está ubicado a doscientos cuarenta millas al este de las Islas Galápagos y alrededor de trescientos cincuenta millas al oeste de Ecuador.

Ha sido explorado cuatro veces: en 1977 se descubrió las primeras fumarolas; en 1979 nuevos descubrimientos extendieron el área de este a oeste; y en 1980 y 1981 se descubrió los yacimientos más grandes y de mejores leyes.

Se han encontrado fumarolas activas e inactivas. El área que contiene las fumarolas inactivas tiene cincuenta metros de ancho y alrededor de dos mil metros de largo; las fumarolas activas de agua caliente han producido un yacimiento con cuarenta metros de espesor, trescientos metros de ancho y mil metros de longitud, en una profundidad de agua de 2.500 metros. En la zona inactiva los análisis de las muestras han arrojado los siguientes contenidos: plata, 0,01-0,1%; cobre, 0,3-3%; manganeso, 0,03-0,3%; molibdeno, 0,01-0,1%; zinc, 0,1-1,0%; y hierro con concentraciones mayores del 10%. Los análisis químicos de muestras tomadas en la zona activa dan: cobre, 10%; plata, 0,03%; cadmio, 0,01%; hierro, 10%; molibdeno, 0,1%; plomo, 0,1%; estaño, 0,03%; vanadio, 0,1%; zinc, 0,1%.

Se estima que el cuerpo mineralizado contiene más de veinticinco millones de toneladas de sulfuros polimetálicos.

LOS NODULOS DE MANGANESO

Antecedentes históricos

Los nódulos de manganeso fueron descubiertos por la expedición británica de la corbeta HMS *Challenger*, dirigida por Sir Charles

Thomson, entre 1873 y 1876. Esta expedición fue la primera que se organizó, con carácter puramente científico, para explorar los fondos marinos alrededor de la Tierra. Sin embargo, pasó casi un siglo antes de que se volviera a tener interés en los nódulos, esta vez desde el punto de vista económico, gracias a los trabajos de John Mero, de la Universidad de California, en la década del 60.

Descripción

Los nódulos de manganeso son concreciones minerales que se encuentran sueltas y disgregadas en los fondos marinos y oceánicos, y que contienen —entre otros elementos— manganeso, níquel, cobre y cobalto.

El nódulo típico, de interés comercial, tiene forma esférica, color café a negro, diámetro de dos a cinco centímetros, estructura de capas concéntricas, poroso (con un contenido de agua de hasta un tercio de su peso total) y una densidad de 2 a 3 gramos/cm³.

Composición química

En los nódulos han sido encontrados minerales de manganeso y hierro, especialmente óxidos; dentro de éstos, el cobre, níquel y cobalto se presentan como substitutos de manganeso y hierro en la red cristalina o absorbidos en la superficie de estos óxidos.

Las composiciones promedio de los nódulos de interés económico son las siguientes:

Manganeso	:	30%
Níquel	:	1,3%
Cobre	:	1,2%
Cobalto	:	0,25%

Origen y ocurrencia

Existen varias teorías sobre el origen de los nódulos de manganeso. Las cuatro hipótesis más importantes son:

- Depositación a partir del agua de mar (origen hidrogénico)
- De origen volcánico (hidrotermal)
- Por meteorización submarina del basalto (origen halmirolítico)
- Depositación a partir de las soluciones contenidas en los poros de los sedimentos oceánicos (origen diagenético).

Posiblemente, la principal contribución son los suministros continentales seguidos de la precipitación oceánica. Se ha demostrado también la existencia de bacterias en nódulos, capaces de depositar manganeso y también de disolverlo (origen biogénico). El promedio de la velocidad de crecimiento de los nódulos es extremadamente lento, del orden de unos pocos milímetros cada millón de años. Sin embargo, eso bastaría para tener una formación de unos diez millones de toneladas cada año, sólo en el Océano Pacífico.

Ubicación de los depósitos más importantes

Los nódulos de manganeso están distribuidos ampliamente en los fondos marinos y oceánicos, principalmente en el Océano Pacífico. Se presentan tanto en la pendiente continental como en las cordilleras (ya sea volcánicas o centrooceánicas) y en las planicies abisales. Estas últimas poseen una mayor abundancia de nódulos, que a su vez son de leyes más altas que los que se presentan en otros lugares. En general, la población y leyes de los nódulos varían en forma importante de un lugar a otro, incluso dentro de distancias cortas.

En el Pacífico sur han sido encontrados numerosos depósitos de nódulos, muchos de los cuales están sobre o muy cerca de elevaciones submarinas, tales como las mesetas Manihiki y Tuamotu, y las Islas Line, Cook y de la Sociedad. El porcentaje de cobre, en peso, contenido en los nódulos de estas elevaciones es de alrededor de 1,3%; en las planicies abisales es aún mayor.

En el Pacífico norte las concentraciones de nódulos de leyes altas son más comunes. Se cree que las condiciones de esta región del Pacífico son más favorables, debido a la ausencia de grandes cordilleras y a una sedimentación limitada de carbonatos.

El área más explorada y que hasta ahora posee los yacimientos más ricos en níquel y cobre es la comprendida aproximadamente entre los 5° y 20° latitud norte y 120° y 160° longitud oeste. Las ocurrencias de nódulos en el Océano Índico y en el Atlántico norte y sur son numerosas, pero de bajos contenidos en metales. Con respecto a la ocurrencia de nódulos bajo la interfase agua-sedimento hay diferencia de opiniones, aun cuando algunas perforaciones con testigos muestran que no hay depósitos a una profundidad de unas pocas pulgadas bajo las capas sedimentarias superiores.

Reservas en función del número de sitios de primera generación

En el caso de los nódulos de manganeso, por no existir operaciones comerciales las reservas se expresan generalmente como el número de sitios mineros de primera generación, los cuales son definidos como las áreas mínimas que contienen suficientes nódulos, con suficiente ley como para sostener una operación en forma comercial empleando tecnología de primera generación.

La población de nódulos, definida como el porcentaje de superficie ocupada por nódulos visibles, varía ampliamente (al menos 10% cada 1.500 pies). La concentración, definida como el peso de nódulos por área unitaria (en base húmeda), es una función de la población, tamaño y peso específico de los nódulos. Para una población promedio de 35%, un tamaño promedio de 3,7 centímetros y un peso específico de 2, la concentración promedio de un depósito comercial típico es de 10 kilogramos/metro cuadrado. Es necesario recalcar que, en el caso de los nódulos, estas reservas no están respaldadas por tecnología probada comercialmente, sino sólo por lo que razonablemente se espera de acuerdo a las pruebas a escala piloto realizadas por los consorcios, y por lo tanto están sujetas a un grado importante de error.

Considerando la tecnología actualmente en desarrollo y los precios existentes de los metales contenidos en los nódulos, pueden estimarse los siguientes valores para los parámetros relevantes de una explotación minera submarina, comercial, de primera generación:

- Ley combinada de níquel y cobre: 2,5%
- Ley de corte combinada de níquel, cobre y cobalto: 2%
- Recuperación minera: 20% (primera generación)
- Tonelaje anual extraído: 3 millones de toneladas
- Número de años de explotación (N): 25 años
- Concentración de nódulos sobre el fondo (C): 10 kg/m²
- Tasa interna de retorno media del proyecto: 15%

— Superficie mínima del sitio minero: 37.500 km²

Suponiendo leyes promedios de 30% de manganeso, 1,3% de níquel, 1,2% de cobre y 0,25% de cobalto, y recuperaciones metalúrgicas de 90% para níquel y cobre, 70% para cobalto y 80% para manganeso, la producción típica anual de un sitio minero sería de alrededor de 700 mil toneladas de manganeso, 35

mil toneladas de níquel, 33 mil toneladas de cobre y 5 mil toneladas de cobalto.

Comparación con reservas terrestres

La tabla siguiente muestra algunas estimaciones del número de sitios mineros de primera generación, las reservas resultantes para los metales más importantes y su comparación con las reservas terrestres.

TABLA N° 1
ESTIMACIONES DEL NUMERO DE SITIOS MINEROS DE PRIMERA GENERACION Y LAS RESERVAS ASOCIADAS

	Holser (United States, Ocean Mining Administration)		Archer (United Kingdom, Minerals Strategy Division Of IGS)		Frazer (United States, Scripp Institution)		Reservas terrestres
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	
N° de sitios mineros	185	80	106	44	56	14	--

Reservas (miles de toneladas)

Cobre	152.625	66.000	87.500	36.250	46.250	11.500	451.000
Níquel	161.875	70.000	92.750	38.500	49.000	12.250	54.000
Cobalto	23.125	10.000	13.250	5.500	7.000	1.750	2.500
Manganeso	3.237.500	1.400.000	1.855.000	770.000	980.000	245.000	1.800.000

Como puede verse, las estimaciones difieren bastante entre sí, pero si consideramos que las cifras dadas por Frazer toman en cuenta sólo las áreas ya muestreadas y analizadas, sin considerar otras áreas con evidencias geológicas y teóricas, podemos concluir que a medida que se realicen más exploraciones

todas estas cifras deberán aproximarse entre sí y aumentar.

Consideramos razonable resumir las cifras anteriores de la siguiente manera, para el caso del cobre:

TABLA N° 2
RESUMEN DE NUMERO DE SITIOS Y RESERVAS

Estimación	N° de sitios	Reservas de cobre (miles de t)
Baja	28	23.100
Media	100	82.500
Alta	185	152.625
Reserva terrestre de cobre:	451.000 (miles de t)	

La inquietud de los países industrializados

Un tema de gran actualidad y preocupación en los países industrializados, es la dependencia de sus industrias del suministro de minerales o metales desde países extranjeros, especialmente de países en desarrollo.

Esta situación de dependencia e inseguridad de suministro, en especial de algunos metales considerados estratégicos para la industria pesada y de armamentos, es uno de los principales factores que podrían acelerar la entrada de la minería submarina.

En el caso de los Estados Unidos de Norteamérica, la dependencia más crítica es la relacionada con el manganeso y el cobalto, metales que no produce domésticamente y que debe importar de un escaso número de países en desarrollo. En el caso del níquel, aunque importa un 92% de sus necesidades no es tan crítico, ya que lo hace principalmente de Canadá. En el caso del cobre, puede decirse que es prácticamente autosuficiente, importando sólo un 15 a 20%. En 1978 Estados Unidos importó 1,4 billones de dólares en los cuatro metales mencionados.

Un estudio reciente del Departamento de Comercio de los Estados Unidos, sobre las implicancias de la minería submarina en la

demanda y oferta futura de los metales contenidos en los nódulos, concluye que: "Hacia el año 2000, la minería submarina será crítica para la seguridad nacional como fuente alternativa viable frente a las fuentes inseguras de manganeso (Brasil, Gabón, Sudáfrica, India y Unión Soviética). Es de sumo interés que los Estados Unidos cuenten con una industria minera submarina, capaz de suministrar manganeso y posiblemente cobalto, hacia el 2000. Una política minera prudente aconseja que, debido al largo tiempo que se requiere para que un sitio minero entre en producción, las decisiones deben ser tomadas con la debida anticipación".

Más grave aún es la dependencia de los países de la Comunidad Europea y de Japón, y por lo tanto más claro resulta el interés de estos países en contar con una fuente independiente de materias primas, como es el caso de los fondos marinos extrajurisdiccionales.

LOS NODULOS DE MANGANESO

Empresas constituidas a la fecha

Hasta la fecha se han constituido numerosos consorcios nacionales e internacionales que han realizado, cada uno de ellos, inversiones que superan la centena de millones de

dólares, tanto en exploración como en desarrollos tecnológicos.

La situación de estos consorcios es dinámica, en el sentido que la composición y participación de las compañías individuales va cambiando en el tiempo.

La situación actual es la siguiente:

1. Ocean Mining Associates Inc. Integrantes: Union Miniere S.A. (Bélgica), (33,3%); (Union Mines) United States Steel Co. (USA), (33,3%); (Essex Iron Co.) Sun Oil Co. (USA), (33,3%). Subsidiaria: Deep Sea Ventures (US Steel, 22%; Union Miniere, 22%; Sun Oil Co., 22%; Tenneco, 34%)
2. Kennecott Joint Venture. Integrantes: Kennecott Copper Corp. (USA), (50%); Rio Tinto Zinc Corp. Ltda. (UK), (10%); British Petroleum (UK), (10%); Consolidated Gold Fields (Sudáfrica), (10%); Mitsubishi Metal Mining Co. (Japón), (10%); Noranda Mines Ltda. (Canadá), (10%)
3. Ocean Management Inc. Integrantes: International Nickel Co. (Canadá), (25%); AMR (Metallgesellschaft, Preussag, Rheinische Braunkohlenwerke, Salzgitter (Alemania), (25%); Deep Ocean Mining Co. (Sumitomo, Nippon Mining, Dowa Mining, etc.) (Japón), (25%); SEDCO Inc. (USA), (25%)
4. Ocean Minerals Co. Integrantes: Lockheed Missile and Space Co. (USA), (25%); Amoco Minerals Co. (Standard Oil of Indiana) (USA), (25%); Billiton Metals BV (Royal Dutch Shell) (Holanda), (25%); Bos Kalis Westminster Ocean Minerals BV (Holanda), (25%)
5. Continuous Line Bucket Group. Integrantes: Alrededor de veinte empresas de seis países; entre ellas están: Broken Hill Pty. Ltda. (Australia); Dome Mines (Canadá); Placer Mining (Canadá); Teck Corp. (Canadá);

Cominco (Canadá); Ethyl Corp. (USA); Occidental Minerals (USA); Phelps Dodge (USA); NL Industries (USA); Superior Oil (USA); Utah International (USA); General Crude Oil (USA); Atlantic Richfield (USA), etc.

6. French Association. Integrantes: CNEXO; Soc. le Nickel; Chantier; Commissariat a L'Energie Atomique (CEA); B.R.G.M.
7. Deep Ocean Mines Association (Japón). Integrantes: 32 sociedades japonesas.

Exploración

Los consorcios desarrollaron toda una técnica sistematizada para ubicar, cuantificar y evaluar los mejores yacimientos de nódulos en el Pacífico norte.

La exploración se efectúa desde naves equipadas con complejos elementos que recogen muestras con indicación exacta de su posición geográfica, toman fotografías del fondo del mar, efectúan una batimetría de detalles, observan por cámaras de televisión y efectúan el análisis químico en sus bien equipados y modernos laboratorios a bordo.

Explotación de sitios mineros

Se ha logrado la extracción de nódulos de manganeso desde cinco mil metros de profundidad —en una cantidad de mil toneladas por día— por medio de naves especiales, tales como el *Glomar Explorer*, y con sistemas colectores adecuados para operar con seguridad y confiabilidad a tan altas presiones hidrostáticas.

Los consorcios han confirmado que la explotación hecha a escala piloto podría ser ampliada a nivel comercial en un lapso no superior a cinco años, contados a partir de la fecha en que se disponga del financiamiento y

de la autorización legal para efectuar la explotación de un sitio minero.

Metalurgia de los nódulos

El proceso de separación de los metales contenidos en los nódulos es complejo, pero los Consorcios superaron las dificultades que se presentaban, desarrollando procesos piro-metalúrgicos e hidrometalúrgicos a escala piloto para separarlos eficientemente, y están en condiciones de desarrollar y construir plantas de procesamiento a nivel industrial, en un período inferior a cinco años.

Inversiones y rentabilidad

El único estudio conocido públicamente para determinar el monto de las inversiones y la rentabilidad de la explotación de los nódulos de manganeso, fue efectuado y publicado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, en marzo de 1978. Los resultados obtenidos en aquella fecha pueden ser resumidos como sigue:

Monto de la inversión	: 509 millones de dólares
Ingreso anual	: 258 millones de dólares
Costo anual	: 110,75 millones de dólares
Tasa interna de retorno (TIR)	: 18,8%

Al comparar los parámetros de ese estudio de 1978, con los actuales, encontramos que los intereses bancarios son ahora superiores y los precios de los metales ligeramente inferiores. Es probable que, en el momento recesivo actual, la TIR haya disminuido marcadamente, al igual como ha sucedido con el de los proyectos de inversiones de la minería terrestre.

En todo caso, se trata de una situación temporal que se estima será superada en un lapso no superior a dos años.

El empleo de tecnologías avanzadas en esta nueva actividad minera incluirá sistemas altamente automatizados, diseñados para operar con el mínimo de mano de obra, el mínimo de consumo de energía y con el más alto rendimiento y eficiencia. Tales medidas son difíciles y costosas de implementar en minas y plantas terrestres en operación. Son los problemas de interferencia con la producción, en especial, los que hacen más difícil de realizar y más costosa su modernización.

DEPOSITOS DE SULFUROS POLIMETÁLICOS DE ORIGEN HIDROTHERMAL

Exploración

Los fondos oceánicos muestran un amplio rango de minerales formados por precipitación de sulfuros polimetálicos de origen hidrotermal. Estos abarcan, por ahora, los yacimientos de fango y salmueras metalíferas del Mar Rojo, las fumarolas del Pacífico oriental y los masivos depósitos de la montaña de las Galápagos.

Alemania, Francia y Estados Unidos han intensificado sus investigaciones. Los científicos han demostrado que existe un eslabón geológico consistente en el similar origen de los sulfuros polimetálicos de la Isla de Chipre, formados hace cien millones de años, y los nuevos yacimientos en continua formación en otros lugares de la Tierra.

Su explotación requiere de buques con instrumental más complejo y de mayor costo que los empleados para los nódulos de manganeso. La batimetría es de alta resolución y se ejecuta con sistema de ecosonda de emisores y receptores múltiples. Para ubicar los depósitos se utiliza submarinos pequeños, diseñados para operar a profundidades superiores a tres mil quinientos metros y conectados a un sistema de control matriz desde la superficie, con control local para afinar la posición. Se espera que el próximo quinquenio

habrá de traer el descubrimiento de numerosos nuevos yacimientos de sulfuros polimetálicos y que no será una labor insuperable el implementar una tecnología minera adecuada para su extracción a nivel industrial.

Explotación

La explotación y su nivel dependerán de la cuatificación y evaluación de los recursos. Es importante hacer notar que para la extracción de los fangos metalíferos del Mar Rojo se tiene ya una tecnología implementada exitosamente.

Los minerales de los yacimientos hidrotermales ubicados, aun cuando tienen una consistencia sólida son más quebradizos que los minerales terrestres. A diferencia de los nódulos, por ser sulfuros, su separación puede efectuarse utilizando los métodos convencionales de flotación y tratamiento pirometalúrgico. Además, se encuentran a menores profundidades; dos mil seiscientos metros versus cuatro mil o más metros, facilitándose su extracción con un considerable ahorro de energía.

POSIBLE EFECTO DE LA MINERÍA SUBMARINA EN NUESTRA ECONOMÍA

Explotación de los nódulos de manganeso

La única minería submarina de aguas profundas que ha pasado exitosamente la etapa de explotación a escala piloto, es la de los nódulos de manganeso. Recién se empieza a estudiar las posibilidades de los recursos procedentes de los sulfuros polimetálicos.

De acuerdo a antecedentes estudiados, habría a la fecha catorce sitios mineros de nódulos de manganeso, susceptibles de ser explotados.

Seis Consorcios han invertido sumas superiores a los cuatrocientos diez millones de

dólares en total y tienen programado, en sus presupuestos de 1982, aumentar esta cifra en cuarenta y un millones de dólares.

Por ese motivo, este análisis se centraría en la consideración de los efectos de la explotación de los nódulos de manganeso, que podría iniciarse al comienzo de la década del 90.

Al votarse el Tratado del Mar recientemente –a fines de abril de 1982– en las Naciones Unidas, con 130 votos a favor, 17 abstenciones y 4 votos en contra, incluido en estos últimos el de estados Unidos de Norteamérica, se abre una interrogante acerca de cual será la posición definitiva que adoptarán, en el futuro cercano: Gran Bretaña, la República Federal de Alemania, Italia y el propio Estados Unidos. Está aún pendiente la firma del tratado, y los resultados de la votación han dado lugar a un momento de reflexión y análisis a todas las naciones del mundo.

En materia de minería submarina, caben dos soluciones: o que los países industrializados reaccionen favorablemente y finalmente firmen la Convención o que se unan para firmar un minitratado, con el propósito de explorar y explotar libremente los minerales del mar.

Producción de los sitios mineros

Se ha aceptado que la producción típica anual de un sitio minero de primera generación sería de:

Níquel	35.000 toneladas métricas
Cobre	33.000 toneladas métricas
Cobalto	5.000 toneladas métricas
Manganeso	700.000 toneladas métricas

De los consumos anuales actuales se deduce que para abastecer el 100% de cada uno de los metales contenidos en los nódulos, se requeriría el siguiente número de sitios:

Para cobalto	6 sitios	Año 1979	(miles de toneladas métricas de cobre fino)
Para manganeso	14 sitios		
Para níquel	18 sitios	Japón	1.145,9
Para cobre	195 sitios	R.F. de Alemania	525,8
		Gran Bretaña	354,5
		Francia	344,0
		Italia	344,4
		Estados Unidos	178,7
			<hr/>
			2.893,3

Si con sólo dieciocho sitios se supera la actual demanda anual de cobalto, manganeso y níquel, es difícil aceptar que este número pudiera ser sobrepasado en los próximos veinte años. También se concluye que es el cobre el metal menos afectado por la entrada en producción de los yacimientos marinos.

Número de sitios mineros que podrían entrar en producción al comienzo de la próxima década

De firmar la Convención todas las naciones, entrarían en producción nueve sitios mineros y su número permanecería fijo por diez años, aproximadamente. De firmarse un minitratado entre los países industrializados occidentales, podrían entrar inicialmente en producción diez sitios mineros, a comienzos de la década del 90, cantidad que podría aumentar sin control alguno hasta absorber gran parte del mercado de los metales.

Tomaremos inicialmente diez sitios para evaluar sus efectos en nuestra producción de cobre.

Importaciones netas de los países posibles productores versus exportaciones netas de los países en desarrollo

Es esencial para realizar este análisis cuantificar las toneladas de cobre que importan aquellos países industrializados que entrarán a explotar los nódulos de manganeso. Se ha considerado, para abreviar y simplificar, los seis países más importantes.

Para los efectos de comparación, se da las cifras de exportación de los países en desarrollo, mayores productores:

Año 1979	(miles de toneladas métricas de cobre fino)
Chile	1.003,5
Zambia	646,7
Perú	382,0
Zaire	365,8
Filipinas	288,8
Papua Nueva Guinea	172,0
Indonesia	51,3
Malasia	24,5
	<hr/>
	2.934,6

El principal interés de los países industrializados, citados anteriormente, es el de tener acceso directo al abastecimiento del cobalto y manganeso, cuyas fuentes de abastecimiento consideran inseguras. Es esta situación de dependencia e incertidumbre en el suministro de los metales considerados estratégicos para las industrias pesadas y de armamentos, lo que los ha impulsado a desarrollar y acelerar la producción de metales desde los nódulos polimetálicos.

La explotación de los sitios los abastecerá básicamente de níquel, cobre, cobalto y manganeso.

Efecto de la entrada en producción de diez sitios mineros

Si tomamos un precio del cobre de un dólar por libra y que la producción submarina de los países industrializados va a significar igual reducción en la compra de metales a los países en desarrollo exportadores netos, tal reducción traería como consecuencia directa una disminución potencial de sus ingresos por venta de cobre, de 730 millones de dólares.

Como Chile exporta el 34% del cobre que producen y exportan los citados países en desarrollo, sus ingresos potenciales se reducirían proporcionalmente en 248 millones de dólares. Podría argumentarse que los productores más afectados serían aquellos de mayor costo de producción y que éstos reaccionarían cerrando sus minas. Tal argumento no es válido para los países que por imperativo de la necesidad de divisas se ven forzados a mantenerse en el mercado y con sus minas en operación, aun trabajando a pérdidas.

El ajuste de precios en el mercado de metales dependerá del grado de desarrollo de la utilización de nuevas aleaciones que incluyan los componentes básicos de los nódulos de manganeso. Es posible prever, a manera de ejemplo, que un aumento en la oferta de níquel y cobre abriría la posibilidad de construir refinerías de petróleo para combustibles con alto contenido de azufre o reemplazar el acero por aleaciones cupro-níquel en los casos de buques.

Sea cual fuere el efecto posterior del desarrollo de estas alternativas, Chile inicialmente recibirá un impacto que afectará su mercado del cobre.

Posibilidades de los depósitos hidrotermales

Hasta ahora hemos considerado el efecto de producción de cobre procedente de los nódulos. ¿Qué va a suceder con el cobre de los yacimientos hidrotermales?

Aparentemente, ellos constituyen un posible serio futuro competidor, porque los primeros informes científicos de los recientes descubrimientos hablan de leyes de cobre del 6 al 10% de cobre.

La ubicación de nuevos yacimientos, mediante una intensa y extensa exploración, y la evaluación de esos recursos y sus perspectivas económicas es una incógnita que habrá de despejarse en el próximo quinquenio.

No debemos olvidar que los resultados de tales investigaciones y estudios podrían llegar a afectarnos en forma aún más directa que los nódulos de manganeso.

ACCIONES QUE CHILE DEBERIA CONSIDERAR

La explotación de los nódulos polimetálicos es una realidad a mediano plazo y su producción de 330 mil toneladas de cobre anuales podría verse incrementada en el futuro en una cantidad imprevisible, por los sulfuros polimetálicos de origen hidrotermal.

El incremento anual que experimenta el consumo de cobre, que se estima sería de 600 mil a 900 mil toneladas al término de la década del 80, podría reservarse, de parte de los países industrializados, para la producción de yacimientos submarinos en lugar de los yacimientos terrestres, asegurándose así un mercado que por ahora se ve reducido.

En el poco tiempo que queda para llegar al comienzo de la década del 90, deberíamos seguir incrementando nuestra producción en

proporción directa a nuestras reservas. Aquí concordamos plenamente con los planteamientos de nuestro colega, el ex ministro de Minería José Piñera, de que todo lo que se haga por extraer y explotar nuestro cobre a la brevedad es positivo; el esperar va en contra de nuestro desarrollo y nuestras expectativas.

La tarea debe ser: acelerar, incrementar, modernizar y explotarlo con la más alta eficiencia y con el mínimo costo; y ella debe ser desarrollada en conjunto por Codelco y la gran minería privada de Chile.

Debemos prepararnos para competir con ese nuevo centro productor que estará radicado en el fondo del Océano Pacífico y deberemos contemplar el financiamiento para la realización de los respectivos proyectos de desarrollo.

EL MAR DE CHILE Y SUS ZONAS DE INTERES

Como resultado de la visión del ilustre mandatario Gabriel González Videla y de la acción inteligente y tesonera de nuestro Ministerio de Relaciones Exteriores, Chile continental –con su superficie de 741 mil kilómetros cuadrados– tiene ahora un mar dos veces más extenso. Bajo sus aguas, en sus valles, montañas, mesetas y fosas, están sucediendo interesantes fenómenos geológicos que han acaparado la atención de importantes instituciones científicas extranjeras, cuyos buques –año tras año– navegan sobre su superficie con una red de instrumentos y sensores remotos, registrando sus condiciones químicas, físicas y batimétricas.

En algunos sectores de su lecho oceánico, circundando las islas de Juan Fernández y Salas y Gómez, se cumplen las condiciones favorables para la formación de nódulos polimetálicos: alta profundidad, lejanía de la costa, sedimentación continua y sumamente lenta y libre de disturbios ocasionados por corrientes

marinas. Las pocas muestras recogidas por algunas expediciones así lo han corroborado. Sectores ya localizados esperan una prospección científica racionalmente dirigida.

La montaña de Chile, un extenso lazo submarino que une Chile continental con Isla de Pascua, muestra zonas de especial atracción para la búsqueda de depósitos de sulfuros polimetálicos de origen hidrotermal.

En su extremo oriental, en su encuentro con la Península de Taitao, suceden fenómenos geológicos que podrían explicar la formación de los minerales de zinc, plomo y cobre del Lago General Carrera. Su extremo occidental, en su unión con la placa del Pacífico y en las cercanías de la Isla de Pascua, será estudiado por una expedición científica en los próximos veranos.

LA PROSPECCION DEL MAR DE CHILE

Es labor del Gobierno prospectar y fomentar el desarrollo de todos sus recursos. Tenemos abundancia de yacimientos de minerales terrestres. ¿Dónde se formaron inicialmente éstos? ¿Desde dónde se trasladaron a tierra? La respuesta es: del mar.

¿Por qué no buscarlo también allí, donde los antecedentes científicos y las opiniones de reconocidas autoridades mundiales sobre la materia reconocen que tenemos excelentes posibilidades?

Un buque científico adecuado nos podría prestar este servicio en un corto tiempo y despejar la incógnita. Centros universitarios norteamericanos y compañías internacionales especializadas estarían prontas a atender nuestros requerimientos a un precio razonable. Su misión sería prospectar los dos recursos más importantes hasta ahora conocidos: los nódulos de manganeso y los sulfuros polimetálicos.

CHILE Y SU DESTINO MINERO

Nuestra nación ha encontrado, por más de un siglo, en la explotación de sus recursos mineros el más fuerte apoyo a su economía. Primero el salitre y ahora el cobre, el oro y el petróleo.

Cuando los yacimientos terrestres de hidrocarburos empezaron a agotarse, fuimos a buscarlos al mar; los encontramos, y con el empuje y la capacidad de nuestros hombres para asimilar nuevas tecnologías los estamos explotando con un éxito que ha maravillado a las compañías mineras internacionales.

Mientras las naciones industrializadas se preparan para explotar los nódulos y los sulfuros polimetálicos, nosotros no podemos arriesgar nuestro futuro manteniendo una pasiva actitud de contemplación. Conjuntamente con acelerar la explotación de los yacimientos terrestres, debemos mojar los pies de nuestros mineros adentrándonos en nuestro mar, el extenso mar de Chile, para prospectar sus recursos con miras a llegar a una explotación mediante la asociación con terceros o la organización de sociedades de otra naturaleza, y aprender así una tecnología que, bien aprovechada, nos permitirá desarrollar aceleradamente nuestra economía y mantener por muchos años más la posición de avanzada y el sitio de prestigio en la minería por el que somos mundialmente conocidos y respetados.

