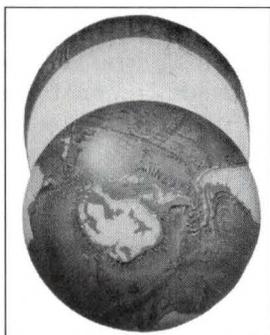


# LA OCEANOMINERÍA EN CHILE: PRESENTE Y FUTURO

Carlos Quiñones López \*



## A. Introducción.

El agua con su simple composición molecular de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, es la sustancia más común y abundante sobre la

superficie de la Tierra y la más escasa en los otros planetas del Sistema Solar.

Los estudios y mediciones científicos han permitido comprobar, hasta ahora, que la Tierra ha sido el único astro regalado copiosamente con ese preciado recurso. Los telescopios y vehículos espaciales han detectado en los otros astros cantidades ínfimas, apenas vestigios del valioso líquido, un volumen insuficiente para sostener la vida.

Es como si los golpes incesantes de las olas sobre los continentes marcaran, con su ritmo, los latidos ancestrales de la Humanidad. La misma sal de sus aguas fluye por nuestras venas y el líquido elemento está en nuestro cuerpo en la misma proporción en que se encuentra en los mares de nuestro Astro-Hogar.

A medida que la población mundial crece, aumenta la incertidumbre de como se sostendrá en el futuro el bienestar de tantos miles de millones de habitantes. Sólo el mar nos da esperanzas. Con su inmensa extensión nos ofrece alimentos, fuentes de

energía y recursos minerales.

Estamos captando ahora en toda su amplitud la importancia trascendental de los océanos y vemos a nuestro planeta Tierra trasladándose en el firmamento, resplandeciendo como una joya azul, portadora del fluido de la vida, preciada sustancia que ha dado origen a la Humanidad, cuyo bienestar y sustentación depende y dependerá cada vez más y en mayor grado de los recursos de sus mares.

## B. El Mar de Chile.

Chile, ubicado en el extremo Sur-Occidental de América, tiene una situación de excepción como país marítimo. Se proyecta hacia la cuenca del Pacífico, se extiende hacia el Drake y el Antártico. Su isla de Pascua, incorporada en 1888, materializa su penetración en el Gran Océano y el espíritu visionario de una época.

La Zona Económica Exclusiva, creación suya y de aceptación universal, lo deja en un sitio de privilegio. Esa larga y angosta faja de tierra que conforma su territorio, genera con sus casi 5000 Kms. de extensión y sus islas más alejadas, un mar patrimonial de aproximadamente 3.500.000 kilómetros cuadrados que, sin contar la Antártica, abarca un dominio marítimo equivalente a casi cinco veces su área terrestre.

Ese es el inmenso Mar de Chile. Las riquezas que contiene en sus cordilleras y fosas submarinas, en su lecho, suelo y subsuelo nos lanzan un desafío que debemos aprender a afrontar con resolución, talento e iniciativa.

\* Contraalmirante, Ingeniero Naval, Ex Ministro de Minería.

## C. Los Recursos Minerales Submarinos.

### 1. El conocimiento geológico de los océanos.

En las últimas décadas nuestro conocimiento geológico de los océanos se ha incrementado en forma impactante 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 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 el reconocer que los vasos que contienen a los océanos, los fondos oceánicos, 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 una cima o con un valle en su centro e interrumpida ocasionalmente por zonas de fractura. Observaciones y mediciones magnéticas, térmicas y sísmicas han demostrado que desde el eje de esa montaña brota la lava, formando una nueva corteza terrestre que se desplaza y aleja lentamente de su lugar de formación.

En algunos casos la corteza se mueve formando un todo con los continentes 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 experimentara la Física en 1890 y como el que experimenta hoy la Biología.

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

Se han identificado alrededor de una docena de placas grandes y numerosas placas pequeñas. Ellas viajan a diferentes velo-

idades y en diversas direcciones, como si flotarían sobre el magma subyacente.

Como resultado de estos desplazamientos, la forma y tamaño de la cuenca de los océanos y la posición relativa de los continentes han estado cambiando durante cientos de millones de años.

### 2. La formación de minerales de origen hidrotermal.

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

En las márgenes en que las placas se desplazan paralelamente, normalmente existe poco volcanismo y suelen 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 en los sedimentos continentales. Allí las fuerzas tectónicas asociadas producen trampas ideales para la formación de petróleo y de yacimientos de minerales.

Los procesos de mineralización terrestres podrían parcialmente atribuirse a que los metales contenidos en la corteza oceánica se funden y son destilados a medida que se sumergen y se introducen bajo la corteza continental. La génesis de las minas del Sur del Perú, Norte de Chile y Suroeste de los Estados Unidos, podrían interpretarse como regiones que han sido mineralizadas de esa manera, formando grandes yacimientos.

Las márgenes de separación o divergencia de las placas tectónicas son ahora motivo de investigaciones geológicas. Este interés nació después del hallazgo de un rico fango metalífero en el fondo del mar Rojo, en cuyo eje longitudinal se están separando la península arábiga del continente africano.

A lo largo del área de divergencia 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, lixivándolos y precipitando su contenido en su encuentro con el agua más fría. En las fosas más cerradas y profundas, tales como las del Mar Rojo, se han encontrado acumulaciones de sedimentos ricos en zinc, cobre y plata.

### 2.1. Los sulfuros polimetálicos.

Las investigaciones en busca de yacimientos de formación reciente en las áreas de separación de placas, culminaron con el hallazgo de varios depósitos de minerales hidrotermales submarinos en el océano Pacífico.

En agosto de 1981, el doctor Alexander 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 rico yacimiento de sulfuros polimetálicos en las cercanías de las islas Galápagos.

El descubrimiento de las fumarolas submarinas y los depósitos hidrotermales ha sido posible gracias a la exitosa introducción del Sea Beam, un sistema de ecosondas y receptores múltiples, que permite realizar la cartografía del fondo registrando diferencias de altura de cinco metros, a una profundidad de 5000 metros; a la utilización de cámaras de video y fotográficas submarinas, y a la operación de los sumergibles *Alvyn*, de Estados Unidos, y *Cyana*, de Francia.

Los sulfuros polimetálicos se presentan en estructuras en forma de chimenea, cuya altura puede variar desde unos pocos centímetros hasta 30 metros. Por el interior de ellas fluye agua a temperaturas de hasta 450 grados centígrados, que transporta minerales disueltos. El encuentro del chorro de agua caliente sulfurosa con el agua del océano, que

está a temperaturas de alrededor de dos grados centígrados, produce la precipitación de los minerales sobre la superficie del fondo y en el interior de las chimeneas. Este proceso no es continuo, ya que se ha encontrado chimeneas activas e inactivas.

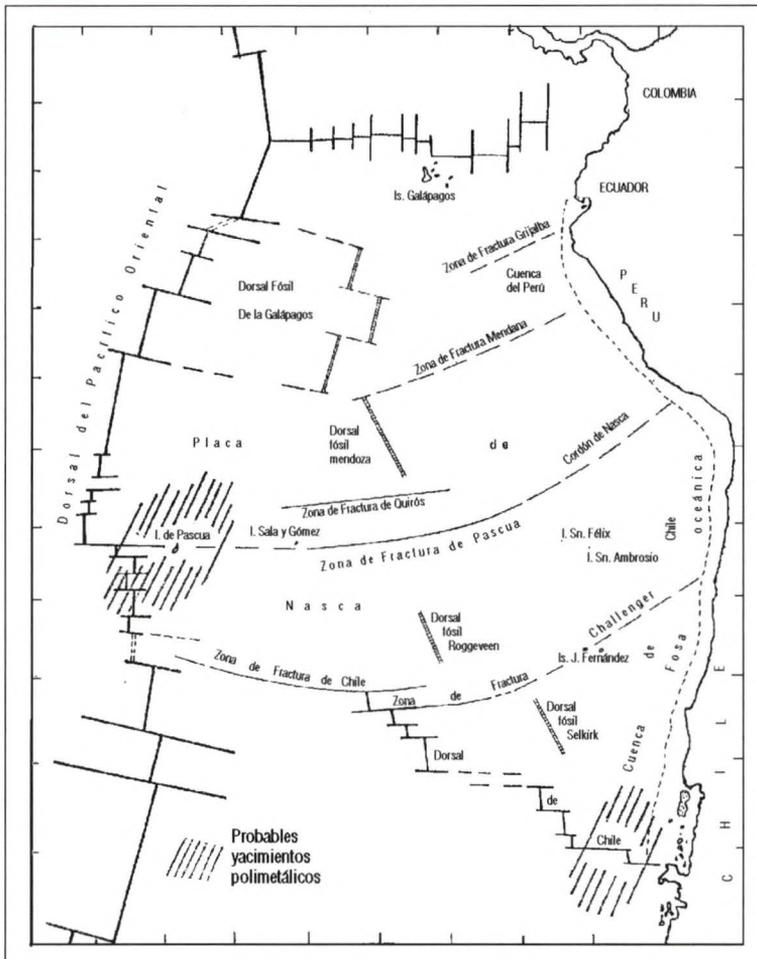
Las chimeneas aparecen en el fondo de fallas geológicas y adyacentes a áreas de actividad volcánica. Las hipótesis actuales atribuyen la formación de los sulfuros a zonas de expansión, con velocidades de separación intermedias y rápidas de seis a dieciséis centímetros por año. Se estima que habría trece mil kilómetros de regiones de separación rápida e igual extensión, de separación lenta.

Es en las regiones con velocidades de separación intermedias a rápidas, donde es posible encontrar los mayores depósitos de sulfuros polimetálicos. Algunas de estas zonas, ya conocidas y con alto contenido de zinc, plomo y cobre son: En el Pacífico Occidental, de Norte a Sur: cordilleras Juan de Fuca y Gorda, cuenca de Guaymas, en el golfo de California; dorsal del Pacífico Oriental en 21 y en 12 grados de latitud Norte, cordillera de Galápagos y dorsal del Pacífico Oriental en 20 grados de latitud Sur. Estos yacimientos son relativamente pequeños si se comparan con los grandes yacimientos existentes en tierra.

A partir de mediados de la década de los años 80 se ha ubicado nuevos yacimientos hidrotermales en sectores de las cuencas existentes tras el arco de las islas de Okinawa, Izu y Ogazawa, con alto contenido de oro y plata, por lo que son económicamente más atractivos que los mencionados anteriormente.

### 2.2. La Dorsal de Chile.

La Dorsal de Chile, un extenso lazo de montañas submarinas que une Chile Continental con la Dorsal del Pacífico al Sureste de la isla de Pascua, muestra zonas de atracción para la exploración de depósitos de sulfuros polimetálicos de origen hidrotermal.



Oceano Pacífico Suroriental. Relieve Submarino.

En su extremo oriental, su encuentro y subducción con la península de Taitao, podría explicar la formación de minerales de zinc, plomo y cobre en el área adyacente al lago General Carrera.

### 3. Los nódulos de manganeso.

#### 3.1 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, transcurrió casi un siglo antes que llegara a despertarse un interés económico por los nódulos, lo que sucedió después que el profesor John Mero, de la Universidad de California, efectuara en 1960 su análisis químico y descubriera su valioso contenido de metales.

#### 3.2 Descripción.

Los nódulos de manganeso son concreciones minerales que se encuentran sueltas y disgregadas en la superficie de los fondos oceánicos y que contienen mayoritariamente: manganeso, hierro, níquel, cobre y cobalto.

El nódulo típico de interés comercial, tiene forma esférica, color que puede variar desde 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 un peso específico de 2 a 3 gramos por centímetro cúbico.

#### 3.3 Composición química.

En los nódulos se ha encontrado minerales de manganeso y hierro, en forma de óxidos. Dentro de éstos, el cobre, níquel y cobalto se presentan como substitutos del manganeso y del hierro en la red cristalina o absorbidos en la superficie de estos óxidos.

Los nódulos de real interés económico, están ubicados en el Cinturón Ecuatorial del Pacífico Norte, con una concentración media de diez kilogramos por metro cuadrado

y tienen la siguiente composición promedio:

Manganeso	28,80 %
Níquel	1,22 %
Cobre	0,99 %
Cobalto	0,23 %
Fierro	6,64 %
Titanio	0,61 %
Molibdeno	0,048 %

### 3.4 Origen y ocurrencia.

Existen varias teorías sobre su origen. Las cuatro hipótesis más importantes son:

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

Su velocidad de crecimiento promedio es extremadamente lenta, del orden de unos pocos milímetros por cada millón de años, equivalente a la formación anual, en el océano Pacífico solamente, de diez millones de toneladas de nuevos nódulos.

### 3.5 Ubicación de los yacimientos más importantes.

Los nódulos de manganeso están distribuidos ampliamente en los fondos marinos, mayoritariamente en el océano Pacífico. Se presentan tanto en la pendiente continental como en las cordilleras, pero principalmente en las planicies abisales.

En el Pacífico Sur, se han encontrado numerosos depósitos en las vecindades de las islas Cook, Kiribati, Tuvalu, Samoa Occidental y cuenca del Perú.

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

El Cinturón Ecuatorial del Pacífico Norte es el área más explorada y posee

los yacimientos más ricos en níquel y cobre. Abarca desde los 5 a los 20 grados de latitud Norte, y desde los 120 a los 160 grados de longitud Oeste. Las existencias en el océano Índico y en el Atlántico Norte y Sur, aún siendo cuantiosas, tienen un relativamente bajo contenido de metales.

### 3.6 Reservas de nódulos explotables con la tecnología actual.

En la Tabla siguiente se muestran las reservas, evaluadas a la fecha, en miles de toneladas métricas, de metales contenidos en los nódulos de importancia comercial y que podrían explotarse dentro de las próximas décadas.

METAL	RESERVAS		CONSUMO Anual
	Marinas	Terrestres	
<b>Níquel</b>	161.875	112.000	869
<b>Cobre</b>	152.625	552.000	8.958
<b>Cobalto</b>	23.125	8.300	39
<b>Manganeso</b>	3.237.500	3.530.000	11.900

### 3.7 La inquietud de los países desarrollados.

Un tema de constante preocupación de los países industrializados, es la dependencia de sus industrias del suministro de minerales o metales desde países extranjeros, especialmente de aquellos con situación política inestable. La dependencia con inseguridad de suministro, en especial de algunos metales considerados estratégicos para la industria pesada, eléctrica, aeroespacial y automotriz, es el principal factor que podría acelerar la iniciación de la explotación de la minería submarina.

### 3.8 Sectores de interés en Chile.

En algunos sectores del lecho oceánico del Mar de Chile, circundando las islas de Juan Fernández y San Félix y San Ambrosio, se cumplen las condiciones favorables para la formación de nódulos polimetálicos: alta profundidad, lejanía del Continente costa, sedimentación continua y sumamente lenta. Las pocas muestras recogidas hasta ahora

así lo han corroborado. Es justamente en dichas áreas donde podría iniciarse una prospección racionalmente dirigida.

#### 4. Las cortezas de manganeso ricas en cobalto.

##### 4.1 Descripción, ubicación y reservas.

Las denominadas cortezas o costras de manganeso ricas en Cobalto se encuentran generalmente en la superficie rocosa de los montes submarinos. Se forman en profundidades de agua desde los 800 hasta los 2500 metros, con espesores que varían desde algunos milímetros hasta diez centímetros de espesor.

Se ubican éstas en la cima, en las plataformas superiores y en las laderas de los montes submarinos, siendo más abundantes en la región ecuatorial del océano Pacífico. Los mayores depósitos se han encontrado en los arrecifes de Palmira/Kingman y en el área adyacente a las islas Johnston.

Su composición, aún cuando es parecida a la de los nódulos de manganeso, se diferencia por su mayor contenido de Cobalto que puede ser de tres a cinco veces superior al de los nódulos.

En 1985, científicos de los Estados Unidos ubicaron grandes depósitos de cortezas al Sureste de las islas de Hawai, hecho que concentró la exploración dentro de la Zona Económica Exclusiva de otros sectores de su territorio insular con excelentes resultados. El éxito de tales prospecciones le permitirá a esa nación contar con su propio abastecimiento de los metales estratégicos contenidos en sus cortezas, específicamente del Níquel y del Cobalto.

La tabla a continuación muestra las reservas actuales en miles de toneladas métricas, contenidas en las cortezas de manganeso de la Zona Económica Exclusiva de los Estados Unidos, excluyendo el área correspondiente a las islas Hawai.

**RESERVAS DE METALES CONTENIDOS EN LA CORTEZA DE MANGANESO DE LA Z.E.E DEL TERRITORIO INSULAR DE LOS EE.UU. EN EL OCEANO PACIFICO**

(En miles de toneladas métricas).

(Se excluye la ZEE de las islas de Hawai).

METAL	Cobalto	Níquel	Manganeso	Platino
<b>Contenido</b>	0,88 %	0,48 %	24,0 %	0,5 ppm
<b>Reservas</b>	39.000	21.000	1.100.000	2

##### 4.2 Sectores de interés en Chile.

Entre la isla Salas y Gómez y las islas San Félix y San Ambrosio se extiende una larga cadena de montes submarinos que ha sido escasamente explorada y en cuya cima y laderas existe la posibilidad de encontrar cortezas y costras de manganeso.

#### D. Desarrollo tecnológico de la Minería Submarina.

##### 1. Nódulos de manganeso.

Hasta la fecha se han constituido siete consorcios internacionales que han realizado, cada uno de ellos, inversiones que superan la centena de millones de dólares en exploración y en desarrollo tecnológico. Las compañías asociadas en estos Consorcios son de los siguientes países:

Alemania, Bélgica, Canadá, Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Holanda, Italia y Japón.

La situación de estos consorcios es dinámica, en el sentido que su composición y las compañías que los integran va cambiando con el tiempo.

##### 1.1. Exploración.

Los consorcios desarrollaron técnicas especiales para ubicar, cuantificar y evaluar los mejores yacimientos de nódulos en el Pacífico Norte. La exploración se efectúa desde naves bien dotadas con equipos que efectúan una batimetría detallada, toman fotografías y observan el fondo del mar para determinar la concentración de nódulos por metro cuadrado, recogen muestras con indicación exacta de su posición geográfica

y los análisis químicos iniciales se efectúan a bordo, en sus bien equipados y modernos laboratorios.

### **1.2. Explotación de sitios mineros.**

Se ha logrado la extracción de nódulos de manganeso desde 5000 metros de profundidad en una cantidad de 1000 toneladas por día por medio de naves, tales como el *Glomar Challenger*, implementadas con sistemas colectores diseñados para operar con seguridad y confiabilidad a altas presiones, recoger los nódulos del fondo del mar y elevarlos hasta las bodegas de almacenamiento del barco extractor.

Los consorcios han confirmado que la explotación, hecha hasta ahora a escala piloto, puede ser ampliada a nivel comercial en un lapso no superior a los cinco años, contados a partir de la fecha de disponibilidad del financiamiento y de la concesión del permiso de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos para iniciar la explotación.

### **1.3. Metalurgia de producción.**

El proceso de separación de los metales contenidos en los nódulos es complejo. Sus dificultades técnicas fueron superadas mediante la utilización de procesos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos realizados también a escala piloto. Se está en condiciones de desarrollar y construir las plantas de procesamiento a nivel industrial en un período no superior a cinco años.

### **1.4. Posibilidades de iniciar la explotación.**

Los nódulos polimetálicos son los de mayor potencialidad de los recursos minerales submarinos de alta profundidad y se ha invertido en sus tecnologías de exploración, extracción y procesamiento más de 600 millones de dólares. Estudios de las posibilidades de inicio de la explotación (MIT 1993) han llegado a las siguientes conclusiones:

- Las reservas terrestres de algunos de los metales contenidos en los nódulos pueden durar más allá de 100 años.
- Los precios de los metales permanecerán bajos en el futuro predecible.

- El ingreso actual estimado para un sitio minero, durante los 20 años de su vida útil, es 42 % inferior al monto mínimo para justificar la inversión.

- Cabe la posibilidad que el aumento de los requerimientos de preservación del medio ambiente para la minería terrestre eleve sus costos de producción en un grado tal como para hacer más rentable la explotación marina que la terrestre.

## **2. Sulfuros polimetálicos.**

### **2.1. Acciones de los países desarrollados.**

Se tiene conocimiento que Estados Unidos, Francia, Alemania y Japón desarrollan programas generales con los siguientes objetivos:

- Desarrollo e implementación de sistemas para mejorar la exploración.
- Determinación de índices ambientales eficaces para ubicar yacimientos.
- Ubicación y evaluación de las áreas de mayor interés económico.

### **2.2. Posibilidades de explotación.**

Los métodos de extracción están en la etapa de estudio preliminar. Por mucho tiempo más los sulfuros polimetálicos no estarán en condiciones de competir económicamente con la minería terrestre, salvo el caso específico de algunos yacimientos encontrados que contienen altas leyes de oro, plata y platino.

## **3. Cortezas de manganeso.**

### **3.1. Técnicas de exploración.**

Las técnicas de exploración de las cortezas tienen muchas similitudes con las de los sulfuros polimetálicos. Utilizan la ejecución de la cartografía del lecho marino mediante el uso del Sea Beam, la observación de las cortezas mediante cámaras fotográficas y de video submarinas, la recolección de muestras mediante dragado y su análisis químico en laboratorios instalados a bordo.

### **3.2. Técnicas de explotación.**

Las técnicas de explotación están en desarrollo y hasta ahora ha sido probado a escala piloto, un sistema de baldes continuos desarrollado por Japón.

### 3.3. Metalurgia.

Los procesos metalúrgicos de separación de los metales son similares a los empleados en los nódulos de manganeso.

### 3.4. Interés en su explotación de algunas naciones insulares.

Existe el interés de algunas naciones insulares del Pacífico Occidental de desarrollar su economía explotando las cortezas, intenciones que hasta ahora no se han materializado por no contar con el apoyo financiero necesario para completar la tecnología de extracción.

## E. Posibles efectos en nuestra economía de la explotación de los nódulos de Manganeso.

### 1. Producción de los sitios mineros.

Se ha aceptado internacionalmente que la producción típica anual de un sitio minero de primera generación, de una superficie de 37.500 metros cuadrados, sería la siguiente:

- Níquel	35.000 T.M.
- Cobre	33.000 T.M.
- Cobalto	5.000 T.M.
- Manganeso	700.000 T.M.

Al comparar estos valores con el consumo actual anual de estos metales indicados en la página (.....), se deduce que para abastecer el 100 % del mercado mundial se requeriría la explotación del siguiente número de sitios:

Para Cobalto	8 sitios
Para Manganeso	17 sitios
Para Níquel	25 sitios
Para Cobre	271 sitios

Si con solo 25 sitios se satisface la demanda anual de Cobalto, Manganeso y Níquel, es difícil aceptar que ese número pueda ser sobrepasado en los próximos 30 años. También se concluye que el cobre sería el metal menos afectado por la entrada en producción de los yacimientos marinos.

### 2. Número de sitios mineros que podrían entrar en producción en los próximos años.

El autor no ha podido obtener aún la información del número de sitios que habrían sido reservados por la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos para los primeros inversionistas y sus Estados certificadores, con el objeto de evaluar el efecto de su entrada en producción en la economía de los países productores de los metales contenidos en los nódulos de manganeso y en nuestra propia economía.

### 3. Efecto en nuestra economía que ocasionaría la entrada en producción de 10 sitios mineros.

Como no ha sido posible contar con la información mencionada en el párrafo anterior, se ha hecho un análisis tomando como base un número probable de diez sitios que se estima podrían entrar en producción, una vez que se cumplan las condiciones económicas y legales favorables para iniciar su explotación.

Si tomamos un precio del cobre de US\$ 1 por libra y asumimos que la producción submarina de los países industrializados va a significar igual reducción en la compra de metales a los países exportadores productores de cobre, la entrada en explotación de 10 sitios mineros acarrearía una disminución potencial, a nivel mundial, de US\$ 730 millones por venta de cobre.

Considerando que Chile exporta el 30 % del cobre que producen los países en desarrollo, sus ingresos se reducirían proporcionalmente en US\$ 220 millones. Este efecto podría aminorarse considerando que nuestros costos son más competitivos que los de otros productores, los que probablemente se verían obligados a cerrar sus minas.

De producirse un ajuste de precios en el mercado de metales, éste dependerá de la incorporación de nuevas aleaciones que empleen los metales contenidos en los

nódulos de manganeso. Es posible prever, a modo de ejemplo, que un aumento en la oferta de níquel, cobre y cobalto abriría la posibilidad de una mayor utilización y de un incremento de su aplicación en equipos industriales de alta resistencia a la corrosión.

Es evidente que la entrada en producción de diez sitios mineros tendría un impacto en nuestra economía, el que será menor en el grado que continuemos mejorando y reduciendo los costos de producción y aumentando las reservas con un plan intenso de exploración de nuestros recursos minerales terrestres.

#### **F. Evaluación de nuestras posibilidades para explorar nuestra Zona Económica Exclusiva.**

##### **1. Extensión de nuestra Zona Económica Exclusiva.**

Chile posee una Zona Económica Exclusiva de 3.490.173 kilómetros cuadrados, cuya distribución es la siguiente:

Chile Continental e isla Diego Ramírez	1.803.985 Km <sup>2</sup> .
Islas San Félix y San Ambrosio	450.190 Km <sup>2</sup> .
Isla de Pascua y Salas y Gómez	729.398 Km <sup>2</sup> .
Islas Juan Fernández	506.600 Km <sup>2</sup> .
.....	
	3.490.173 Km <sup>2</sup>

Esta extensa área casi inexplorada, equivalente a casi 5 veces la superficie de Chile Continental, nos demanda la tarea gigantesca de establecer un programa de exploración geológica y de evaluación de los recursos minerales subyacentes en nuestra Zona Económica Exclusiva.

##### **2. Medios que se requieren.**

Básicamente se requiere de los siguientes medios para realizar un efectivo programa de exploración de los minerales oceánicos:

- 1) Científicos y técnicos bien preparados.

- 2) Un buque de investigación geológica.
- 3) Un Centro para el almacenamiento y preservación de las muestras recogidas del fondo marino.
- 4) Laboratorios para realizar los análisis de las muestras.
- 5) Una Central de Almacenamiento de Datos.

##### **3. Evaluación de nuestra estructura.**

A continuación se hará una evaluación de los medios que disponemos para llevar a cabo un programa de exploración geológica de nuestra Zona Económica Exclusiva.

###### **2.1. Científicos y técnicos.**

Chile, por ser un país minero de larga data, tiene la ventaja de contar con un numeroso grupo de geólogos, algunos con experiencia en el mar. Tres de sus universidades tienen departamento de geología, los que podrían ampliarse para abarcar el área marina. De hecho es posible contar con algunos geólogos y geofísicos marinos en la comunidad académica que podrían desarrollar tal programa, considerando inicialmente el intercambio con profesores de geología marina de algunas universidades norteamericanas, alemanas o japonesas.

Se debe tener presente que nuestros geólogos marinos han participado como observadores en las naves científicas extranjeras que han realizado trabajos de investigación en nuestras aguas jurisdiccionales. Aún cuando ellos están familiarizados con tales trabajos, no han tenido la oportunidad de organizar, preparar y dirigir una expedición, incluyendo las tareas de recopilación, análisis de datos y presentación de los resultados. Sería recomendable considerar inicialmente el apoyo de expertos extranjeros y la participación de geólogos chilenos en programas de entrenamiento en instituciones oceanográficas extranjeras.

La operación de una nave científica es del orden de US\$ 10.000 diarios, motivo por el cual debe evitarse toda pérdida de

tiempo ocasionada por fallas del delicado instrumental de computación y de muestreo que se utiliza. Es común que, por falta de experiencia y por manejo inapropiado, se pierdan equipos e instrumentos de alto costo. Por tales razones, es recomendable contar con personal técnico familiarizado con los sistemas, equipos e instrumentos que se emplean en cada expedición y que esté capacitado para operarlos, mantenerlos y repararlos. Actualmente no disponemos de técnicos electrónicos, electricistas y mecánicos con la preparación y entrenamiento necesarios para cumplir con tales tareas.

### 3.2. Buque de investigación científica.

Felizmente, a partir de marzo de 1993 y después de someterlo a un reacondicionamiento en Asmar (Talcahuano), la Armada de Chile cuenta con un buque de investigación oceanográfica con capacidad para efectuar estudios geofísicos y geológicos en grandes profundidades. Se trata del *B/C Vidal Gormaz*, ex *Thomas Washington*, que operó con Scripps Institution of Oceanography, con base en San Diego, California.

El *B/C Vidal Gormaz* tiene 60 metros de eslora, posee acomodaciones para 22 científicos y técnicos y tiene un sonar de haces múltiples (SEABEAM) para hacer la cartografía del fondo marino a grandes profundidades.

No cuenta con saca-testigos (piston-core, gravity-core, box-core), ni palas ni dragas para sacar muestras del fondo. Como Scripps mantuvo para sí el torno destinado a operar con sistemas CTD (medidas de conductibilidad, temperatura y profundidad) y SCR (roseta colectora de muestras de agua), debe contemplarse la adquisición y reinstalación de un torno de similar capacidad al que existía, con cable triple conductor de 10.000 metros de largo.

### 3.3 Centro de almacenamiento y preservación de las muestras.

Todos los países que desarrollan programas de investigación en geología mari-

na poseen un centro para el almacenamiento y archivo de las muestras. Esto permite que los científicos que requieran hacer estudios adicionales, puedan utilizarlas posteriormente.

No disponemos de facilidades para preservar las muestras marinas, pero el Servicio Nacional de Geología y Minería tiene bodegas para el almacenamiento de muestras terrestres. Podría considerarse su ampliación para guardar testigos, rocas, nódulos y sulfuros polimetálicos con su correspondiente sistema de catalogamiento y con la participación de un conservador encargado de su control y tutela, que inicialmente podría atender ambas secciones: la terrestre y la marina. Se recomienda considerar un área refrigerada para preservar los testigos de sedimentos. Para el catalogamiento de las muestras debería adoptarse un sistema compatible con el existente en los centros de investigaciones extranjeros que permita un expedito intercambio de muestras.

### 3.4. Laboratorios para realizar los análisis de las muestras.

En el Servicio Nacional de Geología y Minería se dispone de laboratorios apropiados para el análisis de muestras geológicas terrestres y parcialmente en el Centro de Investigaciones Minero Metalúrgicas (CIMM). Las facilidades existentes permiten hacer análisis de espectrometría de absorción atómica, de plasma acoplado y fluorescencia con rayos X. El CIMM cuenta con instalaciones para desarrollar procesos de extracción de los metales desde los minerales.

En resumen se dispone inicialmente del personal y equipamiento con capacidad para efectuar el análisis de las muestras que puedan obtenerse, dentro y fuera de nuestra Zona Económica Exclusiva.

### 3.5. Central de Almacenamiento de Datos.

Se dispone de dos centrales que podrían ampliarse: El Servicio Hidrográfico

y Oceanográfico de la Armada (SHOA) y el Servicio Nacional de Geología y Minería (SNGM).

En la central de computación del SHOA, con capacidad para seleccionar y almacenar informaciones hidrográficas, se podría procesar la información de batimetría y la elaborada por el SEABEAM en los cruceros de investigación del B/C *Vidal Gormaz*.

En la central de computación del SNGM se podría procesar y almacenar la información geofísica (perfiles sísmicos, gravimetría, magnetometría) y almacenar los datos de la ubicación y de la composición de las muestras geológicas recolectadas.

Previamente debe contemplarse la implementación de la central de datos de los respectivos centros (SHOA y SNGM) con las informaciones del Mar de Chile existentes en el World Ocean Data Center y el Marine Minerals Bibliography and Geochemical Data Center, Carla Moore, National Geophysical Data Center.

Sería recomendable consultar a esas organizaciones el modo más conveniente para implementar su instalación.

## **G. Acciones que se proponen.**

### **1. Explotación intensa de nuestros minerales terrestres.**

El inicio de la explotación de los nódulos de manganeso por las naciones de alto desarrollo industrial se prepara lenta e irremediamente para el próximo siglo. Estimamos que, si ello sucediera con un número de 10 sitios mineros, nuestra producción de cobre no sería sensiblemente afectada.

No es posible visualizar la fecha de explotación de los sulfuros polimetálicos, ya que requieren todavía de un significativo progreso en la ubicación y cuantificación de yacimientos de interés comercial y del desarrollo de procesos para su extracción. Sin embargo, es necesario precisar que los procesos metalúrgicos a emplear para

la separación de los metales, serían idénticos a los utilizados para el tratamiento de los sulfuros terrestres.

En el tiempo que aún nos queda deberíamos seguir aumentando en forma gradual y competitiva la extracción de cobre de los yacimientos terrestres, porque nuestras reservas durarían 100 años al ritmo actual de producción.

La tarea de la Gran Minería, privada y estatal debería ser: acelerar, modernizar, aumentar la producción, mejorar la eficiencia y reducir costos, porque en esa carrera con los minerales de los fondos marinos, seremos ganadores mientras nuestros costos de producción terrestre sean más bajos.

### **2. Exploración de nuestra Zona Económica Exclusiva.**

Debemos mejorar y completar los medios de que disponemos - evaluados en el párrafo F- para iniciar una campaña de prospección de los nódulos de manganeso en los sectores de la Zona Económica Exclusiva, adyacentes a las islas Juan Fernández y San Félix y San Ambrosio, porque allí se cumplen los requisitos necesarios de alta profundidad (sobre los 4000 metros), lejanía de la costa y de sedimentación continua y sumamente lenta favorables para su formación. Asimismo debe contemplarse la exploración: de la Dorsal de Chile en busca de sulfuros polimetálicos y de los montes submarinos, existentes entre la isla Salas y Gómez y el continente, en busca de cortezas de manganeso.

El Mar de Chile debe ser prospectado. Si en el futuro, el cobre y otros metales van a ser extraídos desde el fondo de los océanos, debemos ser parte de los procesos de exploración y extracción de minerales submarinos, para lo cual debemos prepararnos en las nuevas tecnologías, tal como ENAP lograra hacerlo eficientemente en la explotación del gas y petróleo Costa Afuera del estrecho de Magallanes.

## H. El llamado del Mar de Chile.

La concepción de la Zona Económica Exclusiva constituye el logro económico más valioso de la historia de Chile. Los recursos minerales que guardan sus cordilleras y fosas submarinas, su suelo y su subsuelo nos lanzan el mismo desafío que hemos afrontado exitosamente con sus recursos vivos.

Otras naciones ya iniciaron las acciones que tienden a la explotación de los recursos minerales de los océanos y, Chile, país tra-

dicionalmente minero y dueño de un área marítima equivalente a 5 veces su territorio continental, debe escuchar el llamado eterno de su Mar y aceptar el reto que le ha impuesto su innegable destino marítimo.

Una acción tomada con fe y resolución por sus gobernantes, sus profesionales y trabajadores será siempre fructífera. Las puertas de nuestro mar están abiertas, sólo queda cruzar el umbral e iniciar la búsqueda de los minerales que ha guardado celosamente durante millones de años.

## BIBLIOGRAFIA

- Blissenbach, Erich: "Mineral Prospection on East Pacific Rise (Geometep 1 Cruise). Marine Tecnology N° 3 - June 1980.
- Cyamex Scientific Team: Masive deep-sea sulphide on deposits discovered on the East Pacific Rise. Nature. Vol. 277, February 1979.
- Kojima, Zazuhiro: "Metal Mining Agency of Japan Seminar on Deep Seabed Mineral Resources". MMAJ's Activities on Marine Mineral Resources. 10 February 1997, Santiago, Chile.
- Malahoff, Alexander: "Polimetalic Sulphides from the Oceans to the Continents". Sea Technology, January 1982.
- Marchig, Vesn; Gundlach, Heinrich: "Ore Formation at Rapidly Diverging Plate Margins. Results of Cruise Geometep 4". BGR Circular N° 4. Hannover, 1987.
- Quiñones López, Carlos: "La Investigación Geológica y Exploración de los Minerales Submarinos del Mar de Chile". Seminario "El Territorio Océanico de Chile y la Investigación Cientifico Marina". Valparaíso, mayo 1995.
- Ugarte Alvarez, Guillermo: "La Minería Submarina, Realidad y Perspectivas". Comisión Chilena del Cobre, 1980.
- Welling, C. G.: "The Ocean Waiting Mineral Resources. The Massive Technology for Ocean Mining". The Ships and Ports. Stockton's Port Sounding. Oct. 1980.
- Yajima, Hidehiro: "Metal Mining Agency of Japan Seminar on Deep Seabed Mineral Resources. Japanese Government Policy on Deep Seabed Mineral Resources". Santiago, Chile 10 February 1997.