

# MINERALES SUBMARINOS DEL MAR DE CHILE

*Carlos Quiñones López \**  
*Contraalmirante*

## 1. INTRODUCCION

Chile con su extensa costa e islas mar afuera, es poseedor de un valioso territorio oceánico, reconocido internacionalmente de 5.300.000 Km<sup>2</sup>, y constituido por los espacios marítimos jurisdiccionales proyectados por su territorio continental y por sus islas oceánicas. Ese amplio espacio, parcialmente explorado, guarda promisorios recursos potenciales de minerales submarinos.

Se descubrió y se explotaron hidrocarburos en la plataforma continental del estrecho de

Magallanes y se descubrieron depósitos de fosforita en el Norte, cuya proyección y evaluación económica está pendiente. Al final del siglo pasado y a comienzos del presente siglo fue posible explotar exitosamente placeres auríferos en los bordes costeros de las islas australes cercanas a Navarino.

Con el propósito de controlar y participar permanentemente en las investigaciones geológicas y prospección de minerales oceánicos, se creó, en julio de 1983, en el Comité Oceanográfico Nacional, el Grupo de Trabajo de Geología Marina integrado por representantes del Centro



---

\* Preclaro Colaborador, desde 1983.

de Investigaciones Minero-Metalúrgicas, de la Comisión Chilena del Cobre, de la Empresa Nacional de Petróleo, del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, del Servicio Nacional de Geología y Minería, de la Universidad Católica de Valparaíso y de la Universidad de Chile.

En junio de 1984, el mismo grupo bajo la coordinación del infrascrito y con el patrocinio de CONICYT elaboró y presentó al Gobierno un "Anteproyecto para la Evaluación del Potencial Minero del Fondo Oceánico en el Mar de Chile".

A comienzos de 1990, la Empresa GEOMAR, mediante un Contrato de Operación inició la prospección de placeres auríferos, desde la Segunda Angostura hasta el límite oriental del estrecho de Magallanes y al Sur de la isla Navarino. Se terminó con éxito la primera fase y se prepara ahora la etapa de perforación y evaluación económica.

Pese a que se tiene certeza de que nuestra Zona Económica Exclusiva contiene depósitos de minerales marinos, en la actualidad no existe programa alguno para realizar su prospección. Sin un programa propio, nuestro país dependerá necesariamente del interés científico extranjero, para el conocimiento geológico de su mar, que si bien constituye un método de menor costo para obtener informaciones, no siempre concuerda con el interés nacional.

En esta presentación se ha hecho una evaluación preliminar de nuestra propia capacidad y se propone un Plan General para llevar a cabo un programa de prospección, basado en que el Gobierno tendrá la voluntad política para proporcionar los fondos necesarios para su materialización.

## 2. MINERALES SUBMARINOS

### A. Tipo de materiales.

Estos pueden clasificarse en dos grandes categorías, que fundamentalmente difieren en sus métodos de exploración y desarrollo: Los Minerales de la Plataforma Continental y los Minerales de Aguas Profundas.

#### Los minerales de la Plataforma Continental.

Se encuentran en aguas relativamente bajas y a profundidades menores de 600 metros.

Muchos de ellos, tales como los hidrocarburos y placeres son básicamente idénticos a los encontrados en tierra y sólo son una continuación de los depósitos terrestres, por cuanto el término de los continentes está más allá del borde costero. Otros, tales como los depósitos de fosforita, se forman bajo condiciones ambientales muy especiales y en aguas poco profundas. Con la sola excepción de los hidrocarburos, la exploración de minerales como los mencionados puede efectuarse con inversiones relativamente bajas, con buques pequeños dotados de un torno de capacidad limitada y dispositivos para sacar muestras del fondo.

#### Los minerales de aguas profundas.

Se encuentran en el suelo y subsuelo bajo una columna de agua de 1.000 a 5.000 metros. Estos pueden clasificarse en cuatro tipos diferentes:

- Cortezas ricas en cobalto
- Nódulos polimetálicos
- Sulfuros polimetálicos
- Sedimentos metalíferos.

Las cortezas se forman principalmente en las laderas y en la cima de algunos montes submarinos, mientras que los nódulos polimetálicos se forman en áreas más profundas y de sedimentación muy lenta. La formación de sulfuros polimetálicos se produce en las dorsales oceánicas alrededor de fuentes hidrotermales, en tanto que los sedimentos metalíferos se precipitan alejados del eje de la dorsal y su composición varía con la distancia a éste.

### B. Posibilidades de explotación.

Durante los dos últimos decenios se han intensificado, a nivel mundial, las investigaciones para ubicar depósitos de minerales en los océanos Pacífico, Atlántico e Indico. El recurso de mayor valor conocido a la fecha son los nódulos de manganeso.

A continuación la tabla detalla las reservas de metales contenidas en los nódulos, su comparación con las reservas terrestres y los usos más corrientes de tales metales.

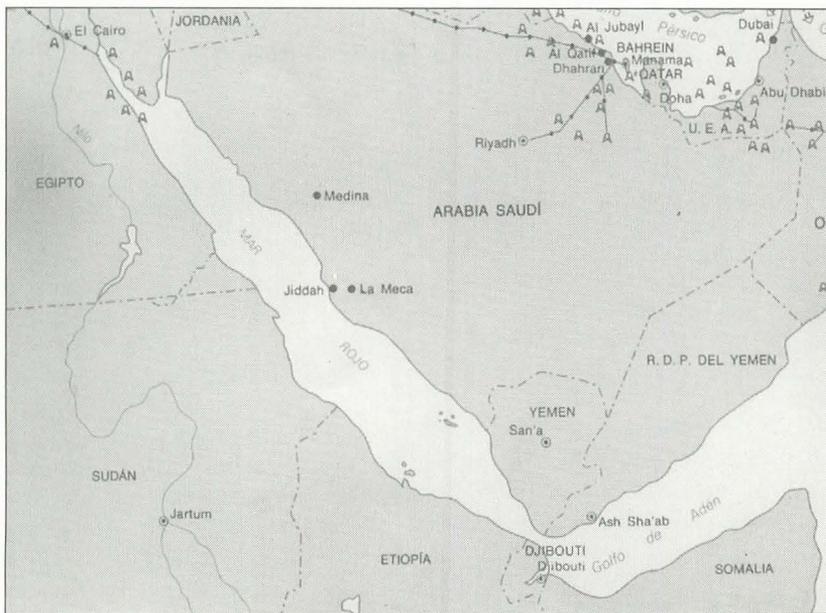
**METALES CONTENIDOS EN LOS NODULOS POLIMETALICOS  
RESERVAS MARINAS V/S RESERVAS TERRESTRES,  
CONSUMO Y USOS MAS CORRIENTES**

METAL	RESERVAS MARINAS (1) (3)	RESERVAS TERRESTRES (1) (1990)	CONSUMO ANUAL (1) (1990)	AUMENTO CONSUMO ANUAL	USOS MAS CORRIENTES
NIQUEL	161.875	112.000	869	2,0 %	23% PLANTAS QUIMICAS Y REFINERIAS DE PETROLEO 13% EQ. ELECTRICOS; 12% MOTORES DE VEHICULOS
COBRE	152.625	552.000	8.958 (2)	2,5%	57% INDUSTRIA ELECTRICAS 15% MAQUINARIAS Y SECTOR DE LA CONSTRUCCION
COBALTO	23.125	8.300	39	2,0%	28% INDUSTRIA ELECTRICA Y COMUNICACIONES; 23% INDUSTRIA AEROSPAIAL; 25% MAQUINAS Y HERRAMIENTAS
MANGANESO	3.237.500	3.530.000	11.900	2.7%	ALEACIONES DE ACERO PARA EL TRANSPORTE, MAQUINAS Y SECTOR DE LA CONSTRUCCION

(1) EN MILES DE TONELADAS METRICAS

(2) CONSUMO BASADO EN PRODUCCION MINA.

(3) BASADA EN 185 SITIOS MINEROS (HOLSER) U.S. OCEAN MINING ADMINISTRATION.



Los sulfuros polimetálicos, aún cuando contienen leyes de Cobre, Zinc, Plata y Oro similares a los yacimientos terrestres, sus cantidades evaluadas en el mar son inferiores a las encontradas en tierra, salvo el caso específico del mar Rojo. La cuenca Atlantis II, en el centro del mar Rojo, contiene grandes reservas de Cobre, Zinc, Oro y Plata y la tecnología para su explotación fue desarrollada por PREUSSAG, de Alemania, en 1985. Dificultades de orden político entre Sudán y Arabia Saudita han retrasado su desarrollo. Se puede decir en general, que los sulfuros polimetálicos no pasan de ser un recurso potencial a ser explotado con posterioridad a los nódulos.

Las cortezas ricas en cobalto han permanecido como un recurso sin explotar en las islas Marshall. En 1991, se terminó el estudio de factibilidad con resultados positivos. Las ventajas de las cortezas sobre los nódulos radican en su mayor contenido de Cobalto, con un promedio de 0,92% y el alto contenido de Niquel (0,47%) y de Manganeso (23,1%), y en que se encuentran a menor profundidad, normalmente en los faldeos de los montes submarinos.

Por ahora son los nódulos polimetálicos los de mayor potencialidad y se ha invertido más de 600 millones de dólares en su exploración y tecnologías de extracción y procesamiento. Estudios recientes (M.I.T. 1993) llegan a las siguientes conclusiones:

- Las reservas terrestres de algunos de los meta-

les contenidos en los nódulos pueden durar más allá de 100 años.

- Los precios de los metales permanecerán bajos en el futuro predecible.

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

- El único temor radica en que el aumento de los requerimientos de preservación del medio ambiente para la minería terrestre eleve sus costos de producción en tal grado, que lle-

gue a ser más rentable la explotación marina.

### 3. ESTRUCTURA NECESARIA PARA REALIZAR UN PROGRAMA DE EXPLORACION DE MINERALES SUBMARINOS

#### A. Recopilación de antecedentes.

Previamente al inicio de una campaña de exploración de minerales, es necesario recopilar el máximo de informaciones desde Centros Internacionales de Datos. Tales informaciones deben ser analizadas, seleccionadas y procesadas para el Mar de Chile.

Los datos más importantes son los de batimetría, mediciones de profundidad, que permiten obtener la morfología de los fondos oceánicos y determinar las áreas donde pueden encontrarse recursos minerales. Reviste también especial importancia la información geofísica: mediciones magnéticas, gravimétricas y perfiles sísmicos. Con ella es posible determinar la edad de la corteza terrestre, la estructura del fondo y el espesor de la capa de sedimentos.

Tan importante como las anteriores es la información geológica, con datos de ocurrencia de minerales, tipo de rocas y sedimentos.

El conjunto de todos estos antecedentes permite definir las áreas promisorias que justifican una investigación más detallada.

## B. Actividades y recopilación de datos de los cruces de exploración.

Cada tipo de mineral requiere de su propio programa de exploración; sin embargo, hay tareas que son comunes en el proceso inicial de reconocimiento. El objetivo de todo programa de prospección es ubicar los lugares de formación de minerales, estimar la ley y el tamaño de sus depósitos. Las primeras tareas consisten en la obtención de muestras y la visualización del fondo con cámaras de TV y fotográficas y sonares de rebuza lateral. Conjuntamente se obtiene la batimetría, mediante el uso del ecosonda de haces múltiples (SEABEAM), los perfiles sísmicos con ecosonda con capacidad de penetración en la capa de sedimentos, mediciones gravimétricas y magnéticas, éstas últimas con un instrumento remolcado. La obtención de muestras se realiza con Saca-testigos (para los sedimentos) y dragas y palas (para las rocas y minerales), equipos éstos que requieren del uso de tornos de gran capacidad de carga y con gran longitud de cable (mayor de 8.000 m.).

Como la obtención de muestras es de alto costo, un programa de exploración debe contemplar la disponibilidad en tierra de una bodega acondicionada para almacenar y preservar las muestras de rocas y de sedimentos. La existencia de un adecuado lugar de almacenamiento garantiza su conservación y evita la repetición del costoso proceso de montar una nueva expedición oceanográfica para obtenerlas.

El estudio de las muestras implica la existencia de laboratorios y de personal calificado para realizar los numerosos análisis que se requieren y que no difieren substancialmente de aquellos que se realizan durante la prospección de minerales terrestres.

Nada de lo anterior podría realizarse sin geólogos marinos bien preparados y con experiencia en la mar para dirigir las operaciones de obtención de muestras y sus análisis.

## C. En Resumen.

Se necesita los siguientes medios para realizar un programa efectivo de exploración de los minerales oceánicos:

- 1) Científicos y técnicos bien preparados.
- 2) Un buque de investigación oceanográfica.
- 3) Centro de almacenamiento y preservación de las muestras.
- 4) Central de almacenamiento de datos.

5) Laboratorios para realizar los análisis de las muestras.

## 4. EVALUACION DE NUESTRA ESTRUCTURA

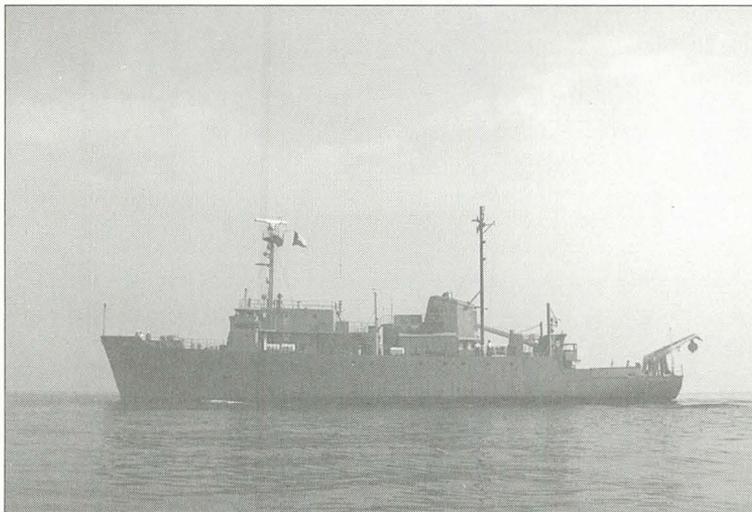
A continuación se presenta una evaluación de los medios de que disponemos para llevar a cabo un programa de exploración geológica de nuestra Zona Económica Exclusiva.

### A. 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 tiene 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 y alemanas.

Debe tenerse presente que nuestros geólogos marinos normalmente han participado como observadores en naves científicas extranjeras que han efectuado trabajos de investigación en nuestras aguas jurisdiccionales. Si bien 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, contemplando asimismo 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 falla del delicado instrumental de computación y medición que se utiliza. Es común también que, por falta de experiencia y 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 emplearán en cada expedición y capacitado para operarlos, manejarlos, mantenerlos y repararlos. Actualmente no disponemos de técnicos electrónicos, electricistas y mecánicos con la preparación y entrenamiento necesarios para cumplir con tales tareas.



AGOR Vidal Gormaz.

### B. Buque Investigación Científica.

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

El AGOR Vidal Gormaz tiene 60 metros de eslora, posee acomodaciones para 22 científicos y técnicos y cuenta con capacidad para hacer la cartografía del fondo marino con un sonar de haces múltiples (SEABEAM) a profundidades mayores de 1.000 metros y que ahora se está modificando para ampliar ese rango a bajas profundidades.

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

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

Todos los países que desarrollan programas de investigación en geología marina poseen un centro para el almacenamiento y archivo de las

muestras. Esto permite que los científicos que requieran hacer posteriormente determinados estudios puedan utilizarlas.

No disponemos de facilidades apropiadas 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 ser a tiempo parcial. Se recomienda considerar a futuro, un área refrigerada para preservar los testigos de sedimentos. Para su catalogamiento podría adoptarse un sistema similar al existente en centros de investigaciones extranjeros.

### D. Central de almacenamiento de datos.

Se dispone actualmente de 2 centros 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 *Vidal Gormaz*.

En la central de computación del SNGM se podría procesar y almacenar la información geofísica (perfiles sísmicos, gravimetría y magne-

tometría) y almacenar los datos de ubicación y composición de las muestras geológicas obtenidas en los cruceros.

Previamente debe contemplarse la implementación de la central de datos de los respectivos centros (SHOA y SNGM) con las informaciones de nuestro mar existentes en el WORLD OCEAN DATA CENTER y el MARINE MINERALS.

BIBLIOGRAPHY AND GEOCHEMICAL DATA BASE, Carla Moore, National Geophysical Data Center. Sería recomendable consultar a esas organizaciones el modo más conveniente para implementar las instalaciones de las Centrales de Datos del SHOA y del SNGM.

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

Se dispone de laboratorios de alta calidad para el análisis de muestras geológicas en el Centro de Investigaciones Minero Metalúrgicas (CIMM) y en el Servicio Nacional de Geología y Minería. Las facilidades del SNGM 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 y dispone de un microscopio electrónico.

En resumen, el SNGM y el CIMM tienen el equipamiento y personal con capacidad para efectuar cualquier análisis de las muestras que puedan obtenerse dentro y fuera de nuestra Zona Económica Exclusiva.

## 5. PLAN GENERAL

### A. Consideraciones previas.

Es un hecho positivo para nuestro país que aún no se hayan dado las condiciones favorables de precio de los metales contenidos en los nódulos polimetálicos para iniciar su explotación. De acuerdo a recientes estudios de las reservas terrestres y de evaluación económica de los proyectos de explotación marina, efectuados por franceses y australianos, la actividad minera oceánica no se iniciaría antes del año 2010, salvo que el aumento de los requerimientos de preservación del medio ambiente eleve los costos de explotación terrestre en tal grado que haga más rentable la explotación marina.

El plazo hasta el año 2010 nos brinda la oportunidad de desarrollar en forma gradual y progresiva las bases que nos permitan explorar nuestro mar en busca de sus recursos no vivos.

### B. Plan general en orden de prioridades.

1) Centralizar los estudios de morfología del fondo y la preparación de la cartografía correspondiente en el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.

2) Centralizar en el Servicio Nacional de Geología y Minería todas las materias relacionadas con la preparación de programas y la conducción de la investigación geofísica, geológica y de los recursos minerales del Mar de Chile, en cumplimiento al Decreto Ley N° 3525, del 2 de diciembre de 1980.

3) Mediante la firma de acuerdo del SHOA y del SNGM con instituciones similares extranjeras, el WORLD OCEAN DATA CENTER y MARINE MINERALS BIBLIOGRAPHY AND GEOCHEMICAL DATA BASE implementar la formación de una central de datos de batimetría, información geofísica y geológica de la Zona Económica Exclusiva y de nuestro Mar Presencial.

Mantener el archivo actualizado con las informaciones recogidas en los cruceros que se efectúen en el Mar de Chile.

4) Implementar el área de geología marina en el SNGM y Universidades, con el reforzamiento de especialidades tales como geofísica, sedimentología, petrología y paleoceanografía.

5) Cumplir con el SNGM las siguientes tareas:

a.- Realizar programas de entrenamiento con la asesoría de expertos extranjeros para preparar jefes de expediciones geológicas marinas.

b.- Habilitar espacios para el almacenamiento y preservación de muestras geológicas marinas.

c.- Iniciar la actividad de exploración con la prospección de recursos de la plataforma continental: fosforita en el Norte y placeres auríferos desde Latitud 34° a 52° Sur.

6) Formar un grupo de técnicos del SHOA para operar, manejar, mantener y reparar el sistema SEABEAM, sistemas electrónicos. instrumentos y equipos mecánicos utilizados en las investigaciones.

7) Reforzar las capacidades de investigación geológicas del AGOR Vidal Gormaz dotándolo de aparatos para obtener muestras del fondo: sacatesigos, palas y dragas y de un torno con cable triple conductor para operar sistemas CTD y SCR. Posteriormente complementar con un trineo de TV y fotográfico y un sonar de rebuza lateral.

8) Una vez cumplidas las tareas previamente citadas, iniciar un programa de investigación geológica y de recursos no vivos en aguas profundas.

## RECOMENDACIONES

1) Postular a Chile, por ser el mayor exportador neto de cobre y, de acuerdo a la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, a un cargo en el Consejo General de la Autoridad Internacional de Fondos Marinos.

2) Participar con un representante del SNGM en las reuniones del Instituto de Minería Submarina, Organismo Internacional que efectúa anualmente un Seminario para informar de los avances en la investigación, exploración y explotación de los minerales oceánicos.

## COMENTARIO FINAL

Hay países como por ejemplo, Alemania, que son altamente dependientes de la importación de

metales, que tienen una Zona Económica Exclusiva reducida y de escasas perspectivas económicas y que son, en cambio, poseedores de una gran capacidad tecnológica marina y de una amplia experiencia en la investigación de los recursos minerales submarinos. Nosotros, que disponemos de un vasto territorio oceánico jurisdiccional y una reconocida experiencia minera terrestre, somos el socio ideal para tales países.

Mientras nos preparamos y capacitamos para iniciar nuestro propio programa de prospección de minerales y mientras se desarrollan las tecnologías para su explotación, debemos abrir las puertas e incentivar, especialmente a esas naciones, a explorar nuestro mar con la participación de geólogos chilenos, como lo contempla positivamente el Decreto Supremo 711 (M) de 1975, que reglamenta el Control de Investigaciones Científicas y Tecnológicas Marinas que efectúen naves extranjeras dentro de nuestro mar jurisdiccional.

## BIBLIOGRAFIA

- Martínez Busch, Jorge: "Bases para la Formulación de una Política Oceánica Nacional", Revista de Marina N° 826, 3/1995, p. 318.
- Anteproyecto para la Evaluación del Potencial Minero del Fondo Oceánico en el Mar de Chile, presentado al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico por un grupo de científicos nacionales. Coordinador Contraalmirante Carlos Quiñones López. 1984.
- Economic Significance of Marine Polymetallics Sulfides. J.M. Broadus. Woods Hole Oceanographic Institution. Woods Hole, Mass. 02543, U.S.A. 1984.
- Feasibility Study of Crust Mining and Processing in the Republic of Marshall Island. Presented at the Underwater Mining Intitute. Yoshio Masuda. Michael J. Cruickshank, James A. Abernathy and Ronald Winston. Sep. 1991.
- Informe del Vigésimo Quinto Congreso del Instituto de Minería Submarina, Monterey, California. Dic. 1994. Extractado por el Contraalmirante Carlos Quiñones López.
- Dr. Ugarte Alvarez, Guillermo: "La Minería Submarina, Realidad Actual y Perspectivas". Comisión Chilena del Cobre, 1980.
- Halbach P., Manheim, F.T.: "Potential of Cobalt and Other Metals in Ferromanganese Crust on Seamounts of the Central Pacific Basin". Marine Mining, Volume 4, number 4, 1984.
- Principales Disposiciones Legales Relacionadas con el Instituto Hidrográfico de la Armada. I.H.A. Misc 4505, 1977.
- The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean. Edited by G. Friedrich, Peter Halbach, Ulrich Von Stacklberg, Ferdinand Enke- Verlag. Stuttgart, 1988.
- Underwater Minerals. D.S. Cronan. Academic Press, London, 1980.