

ANALISIS COMPARATIVO DEL POTENCIAL DE EXTRACCIÓN DE RESERVAS SUBMARINAS EN CHILE



ELIECER ANTONIO MUÑOZ RODRIGUEZ

Informe de Memoria de Título

para optar al Título de

Ingeniero Civil de Minas

ABRIL 2021

“Le diré que en el fondo del mar existen minas de zinc, de hierro,
de plata y de oro, cuya explotación sería ciertamente posible”



CAPITAN NEMO (20000 Leguas de Viaje Submarino).

Agradecimientos:

Mis primeros agradecimientos se los debo a Dios, por haber estado conmigo en todo momento de este camino, por darme la fuerza para continuar cuando me sentí superado, y su compañía en los momentos más difíciles, agradezco a mis padres por su apoyo incondicional y su motivación para seguir día tras día; a mi padre por sus palabras de aliento, que fueron guía en momentos confusos y a mi madre cuyo amor y cuidado siempre me han permitido enfrentar la vida, agradezco a mis hermanos que muchas veces han sido fieles compañeros, mi abuela y mi abuelo por su cariño y apoyo.

Agradezco a las personas que logré conocer en la universidad, y a quienes considero mis amigos, también a los profesores cuya guía me ha ayudado a llegar a estas instancias, y a la misma universidad por acompañarme durante mi formación, por ser la base y pilar para mi desarrollo, por entregarme las herramientas necesarias para poder llegar a la meta académica.

Quiero agradecer a una persona muy especial que en estos últimos 4 años se ha vuelto un sostén en mi vida, quiero agradecer quien es mi novia Paulina y ha sido mi motivación y mi fuerza, mi apoyo y mi compañía en mis momentos de soledad; estoy muy agradecido de Dios por darme cada día un nuevo motivo para seguir adelante y por aquellas personas que ha puesto en mi camino, agradezco por cada persona que me ha entregado cariño y ánimo.

Muchas Gracias.

Eliecer

PP.

Resumen:

Chile es reconocido por ser un país cuyo sostén económico, crecimiento y desarrollo se ve directamente potenciado por la minería, actividad que puede verse afectada por ciertas circunstancias que deben ser superadas para que continúe siendo el motor en el desarrollo nacional. En cuanto a estas limitaciones, las principales son: el agotamiento de recursos, la explotación de minerales de baja ley en la actualidad y el incremento en el uso de agua para procesos. Es por ello que se considera como una alternativa viable la búsqueda de nuevas Fuentes minerales mediante la minería de lecho marino o submarina, la cual contiene nuevos yacimientos de buena ley para extracción. Se busca considerar a la minería submarina de sulfuros polimetálicos, nódulos de manganeso y costras cobaltíferas como una solución a las 3 limitantes planteadas, considerando estos yacimientos como relativamente inexplorados, de alta ley y diversidad mineral, además de que el uso de recursos hídricos es menor para su procesamiento.

El presente estudio se llevó a cabo bajo una revisión bibliográfica de investigaciones afines al tema, con el fin de conocer, analizar y promover el uso de la minería submarina en Chile. Los resultados extraídos de los distintos estudios presentan una vista desde lo global a lo específico, permiten conocer métodos de exploración y explotación, como también realizar un análisis comparativo con respecto a otro tipo de faenas mineras, además ejemplifica cómo es el estudio y aplicación de la minería de fondos marinos a nivel internacional y así poder mensurar el grado de impacto ambiental para lograr vislumbrar su uso nacional. La necesidad de reforzar los estudios en favor de la minería submarina se hace imprescindible para la implementación del método, ya que a pesar de que el nivel tecnológico para su desarrollo ha sido alcanzado, no se ha logrado definir el nivel de impacto ambiental de forma concreta, por lo cual, es imprescindible aumentar el número de investigaciones, puesto que, si bien están encaminadas en la búsqueda de técnicas de remediación, aún no han logrado ser implementadas.

La implementación de una mina de Nódulos de Manganeso o Sulfuros Polimetálicos tiene potencial en Chile, debido a la existencia de este tipo de yacimientos en la ZEE, el alcance y las posibilidades tecnológicas del país y también el potencial humano para estas faenas. En consideración que la influencia de la minería en la economía del país corresponde al 10% se hace necesario la búsqueda de innovación tecnológica y nuevas Fuentes minerales, la minería submarina se convierte en una buena alternativa para subsanar la escasez hídrica dado su bajo consumo de agua y baja generación de desechos, aportando al control de contaminación.

En definitiva, una faena submarina es posible tras mayor investigación logística y es un espacio que requiere profundizar los estudio, tanto en exploración como potencial impacto ambiental y para ello, la moratoria se hace necesaria.

Abstract

Chile has been recognized for being a country whose economic support, growth and development is directly influenced by mining; however, mining can be affected by certain limitations that must be overcome to insure mining activity to. Regarding these adversities, the main ones are the depletion of resources, the exploitation of low-grade minerals at present and the increase in the use of water for processes. Due to these limitations, the search for new mineral sources such as seabed or underwater mining is proposed, which proposes new deposits of high grade for extraction. It seeks to consider subsea mining as a solution to the 3 adversities raised, considering these deposits as unexplored, of high grade and mineral diversity, so the use of water resources is less for processing. This study was carried out under a bibliographic review of research related to the subject, to know, analyse and promote the use of underwater mining in Chile.

The results extracted from the different studies present a view from the global to the specific, allowing to know exploration and exploitation methods, as well as the comparatives with respect to other types of mining operations, in addition to exemplifying how the study and application of mining of seabed internationally and thus be able to measure the degree of environmental impact to achieve a glimpse of its national use.

The need to reinforce studies in favours of underwater mining is essential for the implementation of the method, since despite the technological level for its development has been reached, it has not been possible to define the level of environmental impact in a concrete way. Therefore, it is essential to increase the amount of investigations, since, although they are aimed at the search for remediation techniques, they have not yet been implemented.

The implementation of a Polymetallic Nodules or Massive Sulfides mine has potential in Chile, due to the existence of this type of deposits in the EEZ, the scope, and technological possibilities of the country and the human potential for these tasks. Given the economy in Chile whose mining influence corresponds to 10%, it is necessary to search for innovation and new mineral sources, underwater mining becomes a way of dealing with water scarcity given its low water consumption and low generation of waste, contributing to the pollution control, a submarine task is possible after further logistic research and it is a space that requires more study, the moratorium is necessary.

Tabla de contenido

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Objetivos	2
Objetivos Generales	2
Objetivos Específicos	2
Capítulo 2: Antecedentes Minería Submarina	3
2.1 Factores que Motivan la Explotación Marina	4
Capítulo 3: Exploración de Fondos Marinos	6
3.1 Exploración en el Mundo	7
3.2 Exploración en Chile	8
3.3 Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA)	11
3.4 Metodología de Exploración para Fondos Marinos	11
3.5 Equipos y Sistemas de Exploración	13
3.5.1 Sistemas de Sonar	14
3.5.2 Sistemas Remolcados a Alta Profundidad	15
3.5.3 Submarinos de Investigación	16
3.5.4 Barco de Perforación	17
3.5.5 Perforación con uso de Equipo Sumergible	18
3.6 Tipos de Principales Reservas	19
3.6.1 Nódulos de Manganeso	21
3.6.2 Costras Cobaltíferas	22
3.6.3 Sulfuros Polimetálicos	23
3.7 Cantidad de Reservas disponibles en Chile	24
Capítulo 4: Explotación de Fondos Marinos	28
4.1 ROV's (Remotely Operated Vehicles)	28
4.2 CLB (continuos-line bucket)	29
4.3 Sistema de Succión Hidráulica	30
4.4 Dragado	31
4.5 Equipos Mineros de Producción	32
4.5.1 Cortador Auxiliar	33
4.5.2 Cortador a Granel	33
4.5.3 Máquina Colectora	34
4.5.4 Draga	35
4.5.5 Equipo de Bombeo	36
4.5.6 Barco de Soporte, Producción y Procesamiento	36

Capítulo 5: Problemas Medio Ambientales	38
5.1 Eliminación directa de hábitats y organismos en el fondo marino	40
5.2 Liberación de columnas de sedimento en suspensión	41
5.3 Alteración de Sustrato y en su Geoquímica	41
5.4 Liberación de Toxinas y Contaminación por Extracción y Procesos de Remoción	42
5.5 Contaminación Lumínica y Acústica	42
5.6 Fugas Químicas por parte de los Equipos Mineros	43
Capítulo 6: Minería Submarina Vs. Minería Terrestre	44
6.1 Exploración del Material	44
6.2 Extracción del Material	44
6.3 Impacto Socioeconómico	45
6.4 Impacto Ambiental	46
6.6 Contenido Mineral	48
6.7 Minería Submarina Vs. Pesca de Arrastre	50
Capítulo 7: Primera Mina Submarina “Solwara I”	52
7.1 Factores Económicos de la Faena	53
7.2 Posibilidad	54
7.3 Comparación Solwara I Vs Faenas Terrestres	56
Capítulo 8: Impacto económico y social	57
8.1 Impacto en países productores de mineral	57
8.2 Impacto en Chile	58
Capítulo 9: Proyecciones	60
9.1 Relación tipo de faena consumo de agua del 2019 al 2030	60
9.2 Proyección Económica	61
9.3 Análisis FODA	64
Capítulo 10: Conclusiones y Recomendaciones	65
10.1 Conclusiones	65
10.2 Recomendaciones	66
Bibliografía	67
Anexos	70

Figura 1 Mapa Mundial de Yacimientos Marinos Fuente: ISA	4
Figura 2 Proyección de la demanda del cobre refinado (Mt). (2018-2035). Fuente: CRU	9
Figura 3 Diferentes tipos de yacimientos polimetálicos marinos asociados a cámaras magmáticas someras. Fuente: Cronan, 2000.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4 Muestras tomadas para Solwara 1 FUENTE: DSMF.....	14
Figura 5 Multihaz del fondo marino de RRS James Clark Ross FUENTE: British Antarctic Survey	15
Figura 6 Buque con Sistema VDS (Variable). y Sistema de Remolcado (TAS). Fuente: COMUNIDAD SUBMARINISTICA LATINOAMERICANA	16
Figura 7 Deep-Sumergence Vehicle "Alvin" de la US Navy FUENTE: VADEBARCOS blog naval	17
Figura 8 Barco de Perforación.....	18
Figura 9 Equipo Sumergible Fuente: Castilla & Herrera, 2012	19
Figura 10 Distribución de Yacimientos Marinos a Nivel Mundial Fuente: Sitio TierrayTecnologia	20
Figura 11 Nódulos Polimetálicos Fuente: (Olivares Cruz , Cabrero Ramirez, Rosales Hoz, & Carranza Edwards, 2014)	21
Figura 12 Fragmento de Costra de Cobalto FUENTE: AIDA Andrés Ángel	22
Figura 13 Sulfuros Polimetálicos Bajo el Mar Fuente:.....	24
Figura 14 Clasificación Zonas Adyacentes a la Costa Fuente: U. De Valparaíso.	25
Figura 15 Presencia de Nódulos Polimetálicos en Chile Fuente: Revista de Marina.....	26
Figura 16 Mineralogía de ZEE Chilena Fuente: Marina	27
Figura 17 Métodos de Extracción Submarino Fuente: Beachapedia.....	28
Figura 18 Esquema del Método Rov's Fuente:	29
Figura 19 Equipos Remotos de Extracción Submarina Fuente: DSMF.....	29
Figura 20 Sistemas de Extracción CLB y PLA. Fuente:.....	30
Figura 21 Esquema de Sistema de Succión Fuente: Commodities Venezolanos	31
Figura 22 Esquema de Sistema de Dragado FUENTE: Universidad Austral	32
Figura 23 Cortador Auxiliar Utilizado por DSMF FUENTE: Greek Mineral Wealth.....	33
Figura 24 Cortador a Granel Fuente: DSMF	34
Figura 25 Maquina Recolectora FUENTE: MIT Mechanical Engineering	35
Figura 26 Esquema Magni R Fuente: driza.me	35
Figura 27 Sistemas de Bombeo Submarino Fuente EddyPump	36
Figura 28 Instalación de Apoyo Nautilus Mineral Fuente: DSMF	37
Figura 29 Principales Peligros Ambientales Fuente: BankTrack.....	39
Figura 30 Resumen de Problemas Ambientales Fuente: Elaboracion Propia.....	40

Figura 31 Pesca de Arrastre Fuente: Mongabay Latam	50
Figura 32 Ubicación de Proyecto Solwara I Fuente: DSMF	¡Error! Marcador no definido.
Figura 33 Esquema Método de Extracción Utilizado en Solwara I Fuente: PortalMinero	¡Error! Marcador no definido.
Figura 34 Animación Proyecto Solwara I Fuente: Catalyst.....	54
Figura 35 Representación de Chile en el Mundo Fuente: Scrib	57
Figura 36 Desarrollo de Chile	58
Figura 37 Participación de la Minería en Chile Fuente: Scrib	59
Figura 38 Consumo de Agua Minería Submarina y Minería Terrestre Fuente: Creacion Propia	60
Tabla 1 Porcentaje de Exploración Principales Países	8
Tabla 2 Composición de Yacimientos y Profundidades Relacionadas Fuente:	20
Tabla 3 Comparativa en Cantidad de Mineral Estimado.....	48
Tabla 4 Comparación del Impacto de Solwara 1 vs faenas terrestres.	56
Tabla 5 Costos Operativos Solwara 1 Fuente: Mining Data Online	61
Tabla 6 Precios de los Minerales	61
Tabla 7 Composición de Yacimientos	62
Tabla 8 Nódulo Polimetálico	63
Tabla 9 Costra de Cobalto	63
Tabla 10 Rendimiento Equipos Nautilus Fuente: Nautilus Minerals	63

Nomenclatura

PIB: Producto Interno Bruto.

PVS: Production Vessel Support: Buque de Apoyo Producción

Rov: Remotely Operated Vehicle: Vehículo Operado de manera Remota.

SMS: Seafloor Massive Sulfures: Sulfuros Masivos del Fondo Marino.

SPT: Seabed Production Tools: Herramientas de Producción del Fondo Marino

TPA: Tonelada Por Año.



Capítulo 1: Introducción

La minería submarina (Seabed Mining) o minería de aguas profundas, es un método para recobrar minerales del fondo del lecho oceánico. Las operaciones de minería en aguas profundas están programadas para desarrollarse a profundidades de 1300 a 3600 metros alrededor de áreas con nódulos metálicos, así como también áreas con altos niveles de actividad geotérmica. Estos respiraderos geotérmicos tienden a crear depósitos globulares y masivos de metales, los cuales adquieren alturas de hasta 30m. e incluyen oro, plata, cobre, cobalto y otros elementos de tierras raras, que en el fondo marino pueden llegar a contener concentraciones de minerales y recursos hasta 10 veces mayores que las que se pueden encontrar en tierra, por lo cual, son de gran competencia para la minería terrestre [1].

Chile es reconocido como un país latinoamericano de gran potencial y desarrollo minero, por lo cual, le ha sido necesario mantener su desarrollo e inversión a lo largo de los años en estas áreas y a la vez, aprovechar sus conocimientos ("know-how") en extracción de minerales, tales como: faenas salitreras, cupríferas, carboníferas y otros minerales; en especial para seguir contribuyendo al desarrollo del país. Chile posee estos recursos de sobra, asegura el abogado Gastón Fernández, ex fiscal del Ministerio de Minería durante los años 90. "Basta casi con aplicar la lógica, porque la litósfera donde está ubicada nuestra minería terrestre se prolonga bajo los fondos marinos. Con la Armada hicimos un análisis de las riquezas que existen bajo nuestro mar. Hay cordilleras, montes. ¡Cuántas Chuqui y Escondida nos esperan en los fondos marinos!", exclama [2].

En la actualidad las faenas de este tipo no se encuentran masificadas, aun así, existe un gran porcentaje de exploraciones con respecto al tema. Uno de los terrenos más explorados es la zona de económica Clarion-Clapeiron, ubicada entre las costas de México y Hawaii, por su riqueza en nódulos polimetálicos de manganeso, considerando que esta área del océano podría abarcar un gran porcentaje que hoy es cubierto por minería terrestre, los casos submarinos se vuelven cada vez más atractivos debido al agotamiento de las reservas terrestres y las leyes bajas, conforme la tecnología necesaria se ha vuelto menos costosa y la necesidad de minerales ha ido en aumento, la minería submarina se vuelve un medio viable para compañías del sector.

Este estudio es una revisión de los distintos casos y aplicaciones sobre minería submarina y la posibilidad de aplicación en Chile.

1.1 Objetivos

Objetivos Generales

- Conocer el contexto de la minería submarina, desarrollo y avances en el mundo.
- Analizar brevemente los ecosistemas de las profundidades marinas y la política ambiental.
- Incentivar el estudio sobre la minería submarina, entendiendo la importancia de este para el desarrollo del país.

Objetivos Específicos

- Realizar comparativa entre la minería submarina y terrestre sobre el impacto que se genera en la economía y ambiente.
- Reconocer los principales peligros ambientales, sociales, políticos y económicos que presenta la minería submarina en comunidades y países.
- Conocer estructuras y equipamientos necesarios para la exploración y explotación en la minería submarina.



Capítulo 2: Antecedentes Minería Submarina.

Un reciente estudio ruso realizado por el Instituto de Investigación de Recursos Minerales de Rusia “VIMS” para la Autoridad Internacional de Fondos Marinos, hace mención sobre el grado de impacto del desarrollo de la minería submarina sobre países cuyo principal crecimiento es debido a la minería, tal cual Chile; el estudio consigna que la extracción de nódulos polimetálicos, con una demanda de cobre que crece sólo un 3,5% anual, no tendría ningún efecto en el equilibrio de la oferta/demanda de cobre; en tales circunstancias, incluso un escenario máximo no tendría efectos adversos graves en el mercado. Sin embargo, todavía puede haber cierta disminución en los precios del cobre, ya que las posibles tensiones de suministro se reducirán [3].

El fondo marino, contrario a lo que piensa mucha gente, es un paisaje irregular y dinámico con tanta variación como cualquier lugar en tierra existiendo zonas de cumbres muy altas similares a las grandes montañas y extensos llanos como verdaderos desiertos submarinos. Las montañas surgen de las llanuras submarinas, los cañones se extienden a kilómetros de profundidad, las aguas termales manan a través de fisuras en la roca, y las corrientes de salmuera pesan en las laderas, que se acumulan en lagos submarinos. Estos picos y valles están unidos con la mayoría de los mismos minerales que se encuentran en la tierra, otorgando una vista variada y extensa de las profundidades marinas.

Los científicos han documentado sus depósitos (Figura 1). desde al menos 1868, cuando un barco de dragado extrajo un trozo de mineral de hierro del fondo marino al norte de Rusia. Cinco años después, otro barco encontró pepitas similares en el fondo del Atlántico, y dos años posteriores a las pepitas se descubrió un campo de los mismos objetos en el Pacífico. Durante más de un siglo, los oceanógrafos continuaron identificando nuevos minerales en el fondo marino: cobre, níquel, plata, platino, oro e incluso piedras preciosas, por otra parte; las compañías mineras buscaron una forma práctica de poder traer semejante tesoro hasta la superficie [4].

Existe un interés creciente en todo el mundo en el potencial de la minería de aguas profundas para que sirva como motor del “crecimiento azul” e impulse el desarrollo económico sostenible (Comisión Europea, 2012 ; Wedding et al., 2015). Uno de los descubrimientos más importantes de la expedición HMS Challenger (1872-1876) fueron los nódulos polimetálicos en la mayoría de los océanos del mundo.

Las distintas zonas minerales alrededor del mundo han sido exploradas y delimitadas durante los años alcanzando un mapa como el expuesto en la figura 1.

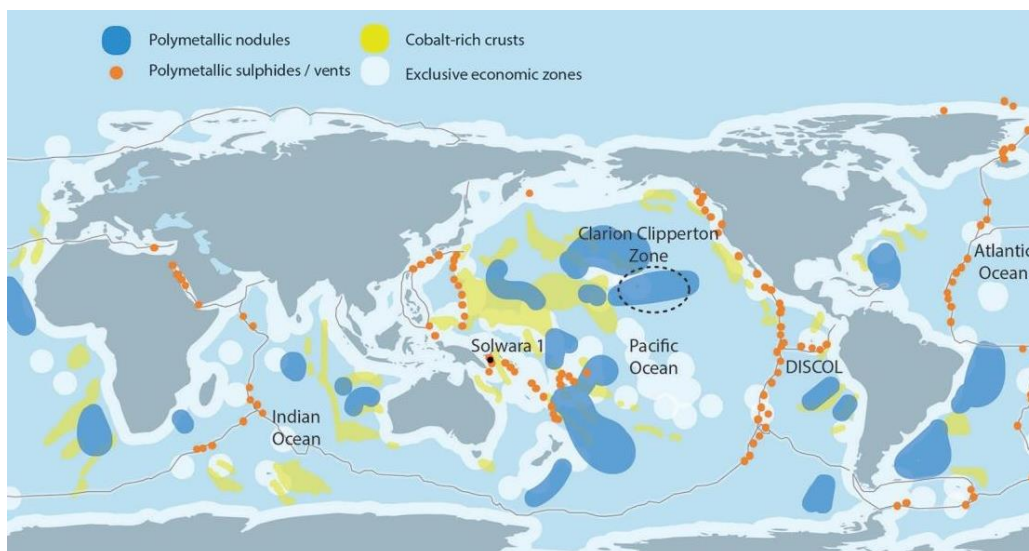


Figura 1 Mapa Mundial de Yacimientos Marinos Fuente: ISA

Las empresas mineras de aguas profundas han ganado popularidad recientemente, principalmente debido al hecho de que los costos de la tecnología y los equipos para la explotación minera del suelo oceánico en el pasado eran demasiado altos. A medida que la tecnología ha mejorado, la minería submarina se ha vuelto más económica, atrayendo a más y más compañías a invertir recursos. Ahora, varias compañías se han visto tentadas a la preparación y creación de flotas de vehículos no tripulados con el único propósito de la minería submarina.

Bajo otros escenarios de crecimiento del consumo, la escasez de cobre puede manifestarse después de 2032 o no presentarse; todas las necesidades de cobre de la economía mundial podrían ser satisfechas por la producción terrestre. En este caso, incluso pequeños volúmenes de cobre de nódulos polimetálicos podrían ejercer presión adicional en el mercado (Ferrer Fougá, 1994). Considerando una necesidad de mineral a partir del 2032 la investigación de nuevas Fuentes o búsquedas de yacimientos se vuelve necesario, si en tierra se considera un 21% de las reservas de cobre mundiales, puede crecer incluyendo reservas submarinas.

2.1 Factores que Motivan la Explotación Marina

Existen también factores que motivan el inicio de las explotaciones marinas tales como:

- Incremento de la población mundial, el uso de suelos con el propósito de construcción residencial, creación de zonas de apoyo y así también recursos minerales para finalidades tecnológicas.
- Crecimiento natural de la economía mundial, a excepción transitoria del continente asiático, aumento de demanda mineral.
- Disminución del valor real de los energéticos.

- Tendencia en lo potencial hacia el agotamiento de las reservas de los yacimientos terrestres, en particular del níquel y el cobalto.
- Aumento en los costos de la minería terrestre, al bajar las leyes de los minerales, aumentan los movimientos de tierra e incrementarse los presupuestos para controlar la contaminación.
- Introducción de nuevas tecnologías en la industria que se traduzcan en un mayor empleo de los minerales donde es fuerte en reservas la minería marina y débil la terrestre.
- Renovación de patentes concesionarias para explotar los sitios mineros bajo el control de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (AIFM). entre las franjas de Clarión y Clipperton.
- Crecimiento de la demanda de níquel para diversas aplicaciones, tanto de aceros inoxidables como para la manufactura de los futuros autos eléctricos que emplearán este metal en su banco de baterías.
- Disminución en los costos de la exploración y explotación marina al incorporarse nuevas tecnologías las que al facilitar el proceso disminuyen los dispendios,
- Entrada en vigilancia de la "Convención sobre el Derecho del Mar de la ONU-82 ("COREMAR")., incluida de la probable aceptación general a las enmiendas habidas en la parte XI de su texto.
- Probabilidad que algunos gobiernos como Japón y Corea continúen invirtiendo en tecnologías relacionadas con la minería marina a fin de abaratar costos, al igual que ciertos consorcios industriales de occidente dentro de una política permanente de mediano y largo plazo [5].
- Disminución en el uso de recursos hídricos para el procesamiento mineral, debido a que a mayor ley menor uso de agua.

Capítulo 3: Exploración de Fondos Marinos

La exploración de los yacimientos submarinos ha sido un desafío a nivel mundial, debido a la complejidad que presentan las mismas profundidades, aun dado esto existen muchas concesiones de exploración de suelo marino en el mundo las cuales son solicitadas a la “Autoridad Internacional de los Fondos Marinos”, ente rector de los mares internacionales [6].

Existen distintos tipos de riqueza mineral en los fondos marinos, debido a su contacto con cámaras magmáticas, sedimentación o alteraciones generadas por el ambiente (Figura 4) desde sedimentos mineralizados en base de hierro y manganeso, como sulfuros polimetálicos ricos en oro, esto debido a la interacción apreciada en la figura 2.

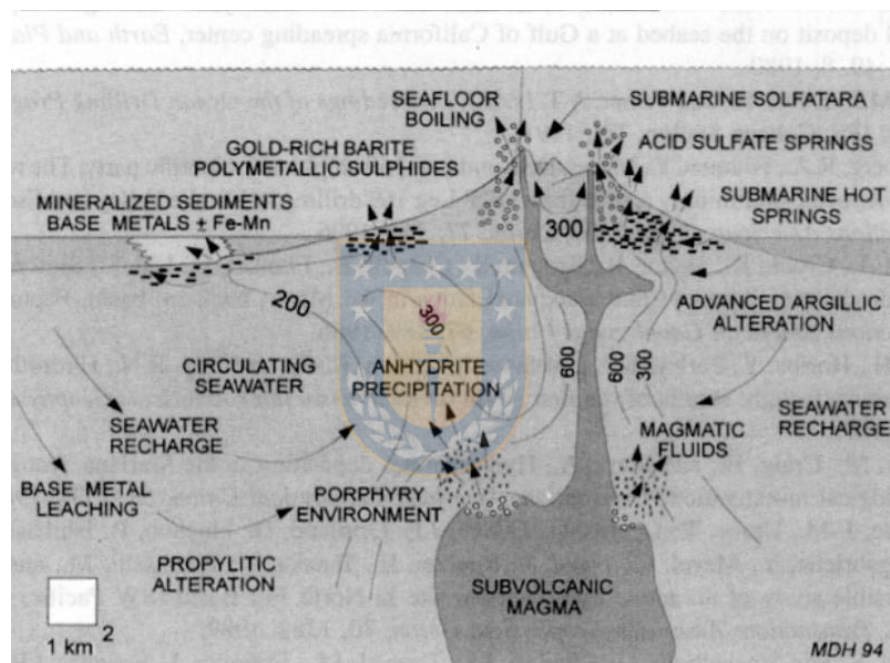


Figura 2 Diferentes tipos de yacimientos polimetálicos marinos asociados a cámaras magmáticas someras. Fuente: Cronan, 2000

3.1 Exploración en el Mundo

La extracción y muestreo de las zonas de interés ha sido el principal método para lograr establecer la ubicación y extensión del material como la ley que este posee en términos de estimaciones de recursos minerales, para así obtener conocimiento con respecto al beneficio que trae la zona explorada. Entre las empresas enfocadas en esto se destaca DeepGreen, la cual se ha dedicado fuertemente a la exploración como la publicación de estudios asociados a este tipo de minería, según un estudio de DeepGreen Metals, el proceso de extraer materiales para la fabricación de baterías de vehículos eléctricos podría ser más limpio si se hiciera desde lechos marinos del Pacífico gracias a un mineral que contiene cuatro componentes clave en la fabricación de las mismas, haciendo referencia a los nódulos de manganeso.

En la actualidad se manejan 17 contratos para nódulos de manganeso: 16 en el Océano Pacífico y 1 en el Océano Índico. Los primeros 6 contratos fueron regularizados en el año 2001 (IOM, JSC Yuzhmorgeologiya (Rusia)., IFREMÉR (Francia)., KYOST (Corea)., DORD (Japón)., COMRA (China). Luego, BGR (Alemania). en 2006. En el año 2011 nuevos contratos fueron adjudicados en esta región del mar internacional. NORI (Nauru). seguido por TOML (Tonga).; en 2012; los siguieron GSR (Bélgica)., UKSRL1(UK). en 2013.

Para el 2015 se unieron a la exploración submarina MARAWA (Kiribati). y OMS (Singapur). En 2016, UK solicitó un segundo lugar: UKSRL2 (UK). El mismo año Cook Island (CIC). se adjudicó un sitio para la exploración submarina. Finalmente, en el 2017, CIM aplicó por un segundo lugar para la República de China. El total del área ya otorgada para la exploración excede 1 millón de kilómetros cuadrados, algo equivalente al tamaño de Bolivia, Egipto o Mauritania. Notemos que la superficie de Chile no excede los 800 mil kilómetros cuadrados. Esto solo en el Océano Pacífico del Norte; entre las costas de México y la Isla de Hawái [7].

La exploración de los fondos marinos presenta desafíos principalmente debido al desgaste acelerado que la presión del agua genera sobre los equipos en funcionamiento, aun así, existen distintos países que se han encargado de fortalecer en gran manera esta área (Tabla 1), dentro de estos los principales son: Japón, Reino Unido y Noruega, los cuales alcanzan un porcentaje de océano explorado superior al 80%, Chile bajo la dirección del ministro de minería Don Carlos Quiñones también comenzó múltiples investigaciones a nivel submarino, las cuales fueron abandonadas a la salida del Ministro. En la tabla 1 se aprecia el ranking de los países líderes en exploración submarina, destacan entre ellos Japón por el alto porcentaje de mar explorado, pero uno de los países con una mayor cantidad de km² explorados es EE.UU. con un total de 7.934.349 km² marcado referente de exploración submarina.

Tabla 1 Porcentaje de Exploración Principales Países. Fuente: Sitio Visual Capitalist.

Países / territorios	Tamaño de la zona económica exclusiva * (ZEE)	Porcentaje de ZEE mapeadas
Japón	1,729,501 millas ² (4,479,388 km ²)	97,7%
Reino Unido	2,627,651 millas ² (6,805,586 km ²)	90,6%
Noruega	920,922 mi ² (2,385,178 km ²)	81,9%
Nueva Zelanda	1,576,742 millas ² (4,083,744 km ²)	74,0%
Estados Unidos	4.382.645 millas ² (11.351.000 km ²)	69,9%
Australia	8,505,348 km ² (3,283,933 millas ²)	64,9%
Islandia	291,121 millas ² (754,000 km ²)	49,9%
Sudáfrica	592,874 mi ² (1,535,538 km ²)	39,5%
Canadá	2.161.815 millas ² (5.599.077 km ²)	38,8%
Samoa	49,401 millas ² (127,950 km ²)	34,6%
Corea del Sur	475,469 km ² (183,579 mi ²)	28,3%
Taiwán	32,135 millas ² (83,231 km ²)	26,3%
Argentina	447,516 mi ² (1,159,063 km ²)	22,6%
Islas Cook	756,770 mi ² (1,960,027 km ²)	29,0%
Filipinas	614,203 millas ² (1,590,780 km ²)	16,7%
China	338,618 mi ² (877,019 km ²)	11,4%
Madagascar	473,075 millas ² (1,225,259 km ²)	5,5%
Bangladesh	45,873 mi ² (118,813 km ²)	3,3%
Tailandia	115,597 mi ² (299,397 km ²)	1,5%



3.2 Exploración en Chile

La minería en Chile ha sido una actividad económica muy importante; consecuentemente dado esto el país ha especializado gran parte de su fuerza laboral, como también la formación de profesionales ligados al área en su nivel tanto técnico como universitario, 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. Varias de sus universidades tienen departamento de geología, minería y metalurgia 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 y centros de investigación de renombre internacional, podrían ser centros de México o España en consideración de evitar la barrera idiomática de esta misma manera podrían ser preparados ingenieros de minas para afrontar los desafíos de las faenas submarinas, como también metalurgistas que se concentren en técnicas para tratar con el tipo de mineral marino. 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 [8].

Existe una demanda creciente de diversos recursos minerales por parte de la sociedad y las industrias modernas, en especial la creciente demanda del cobre (Figura 3). además del agotamiento gradual de los recursos en la corteza terrestre. Por esta razón, la investigación y el desarrollo de los recursos minerales de los fondos marinos son cada vez más necesarios. Los nódulos de manganeso han atraído un nivel cada vez mayor de atención en todo el mundo debido a su alto valor económico y su prospección relativamente fácil en comparación con otros recursos. "Estamos hablando de minas automatizadas de al menos dos kilómetros de profundidad, centros de control urbanos de alta tecnología, ejércitos de sensores, máquinas robotizadas y todo con energía limpia" (Fennell, 2020). La demanda por cobre es solo una muestra del crecimiento en la necesidad de los minerales, Chile es un gran productor de cobre a nivel mundial por lo cual su desempeño en cumplir con la demanda no puede verse en menoscabo, entrando en la necesidad de adquirir nuevas Fuentes de mineral [9].

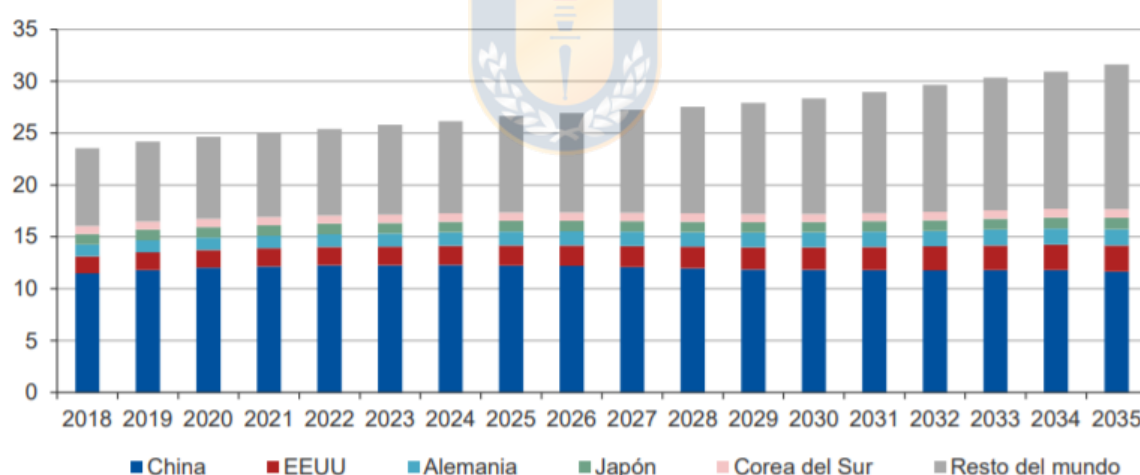


Figura 3 Proyección de la demanda del cobre refinado (Mt). (2018-2035). Fuente: CRU

La exploración de estos yacimientos es primordial, pues un alto nivel de confianza en los datos de recursos es un prerequisite clave para realizar un estudio de viabilidad económica en minería de fondos marinos en aguas profundas. Sin embargo, la adquisición de datos precisos de recursos es difícil de conseguir cuando se emplean métodos tradicionales de muestreo puntual para evaluar el potencial de los nódulos de manganeso, dado el vasto tamaño del área de estudio y la alta variabilidad espacial en distribución de nódulos (Figura 4). Un desafío para los geólogos de recursos es que la composición de los nódulos no es uniforme. Las investigaciones han demostrado que los depósitos que se encuentran a varios cientos de metros de distancia pueden

variar apreciablemente en composición: la concentración de minerales en los nódulos que se encuentran en el cinturón del Pacífico Norte parece ser mayor que el Pacífico Sur; los valores porcentuales de la región anterior se informan como 22-27% Mn; 1,2-1,4% de Ni; 0,9-1,1% Cu; 0,15-0,25% de Co; 5-9% Fe. Indudablemente hay aspectos específicos del sitio, eso anularía las implicaciones del muestreo a escala oceánica [9].



Figura 4 Muestra formación de un nódulo de manganeso, como concreciones esféricas de 1-20 cm formadas alrededor de un núcleo (fragmento de coral, diente de tiburón o detrito de basalto). Fuente: [9].

Dentro de este contexto, estimamos necesario destacar la enorme zona de responsabilidad que tiene Chile por investigar. Al respecto citaremos las siguientes superficies comparadas [10].

Superficie de Chile sudamericano: 741.767 km²

Superficie del territorio chileno antártico: 1.250.000 km²

Superficie de la Zona Económica Exclusiva: 4.264.560 km²

Esta última se descompone de la siguiente manera:

Islas oceánicas: 1.725.920 km² (40,47%).

Zona sudamericana: 1.695.320 km² (39,75%).

Zona antártica: 843.320 km² (19,78%).

Debido a que Chile no aparece en la tabla 1 se asume que su porcentaje de exploración es inferior a Tailandia, por lo cual el porcentaje de exploración de la ZZE chilena es menor a 1.5%, dado el uso de los datos conocidos en Chile se han explorado menos de 63.968 km² aproximadamente. Hasta la fecha las estimaciones cercanas que se han podido recopilar sobre posibles yacimientos en Chile son:

- Nódulos de manganeso, cercanos a las costas de Robinson Crusoe, con presencia de Níquel, Cobalto y Cobre, cuya ley combinada es 0.87%.
- Nódulos de manganeso, frente a la desembocadura del Río Loa, Cobre y Níquel con una ley combinada es de 1.38%.
- Posibles Sulfuros polimetálicos, en zonas adyacentes Isla de Pascua y colindantes a la península del Taitao, actualmente sin más información de la ley mineral presente.

3.3 Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA).

La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA en su acrónimo en inglés “International Seabed Authority”), es un organismo autónomo que regula las labores de exploración, prospección y explotación de recursos mineros en “La Zona”. Fue creado como organismo autónomo en 1994 en virtud de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho Internacional del Mar en 1982 (ISA, 2013). La ISA dicta los códigos y reglamentos que rigen las labores de exploración de recursos minerales en las aguas internacionales patrimonio de la humanidad haciendo hincapié en aspectos medioambientales, del mismo modo que afirma que una exploración puede ser anulada si se encuentran restos arqueológicos o humanos. En el artículo 153 de la Convención, “sistemas de exploración y explotación”, se dan las líneas sobre el aprovechamiento y gestión de los recursos en “La Zona”. Hasta el año 2013 la ISA ha establecido los reglamentos que regulan la exploración en “La Zona” de nódulos de manganeso (año 2000), sulfuros polimetálicos (año 2010) y costras de ferromanganeso con alto contenido en cobalto (año 2012). Y se han firmado contratos de exploración para estos recursos minerales entre la ISA y numerosos contratistas internacionales entre los que se encuentran consorcios de países como Reino Unido, Alemania, Francia, Rusia, China o Japón [11].

Su función es conceder los permisos de exploración y eventualmente explotación, basándose en un complejo código de regulaciones para darles un norte a los contratistas, países miembros y organizaciones observadoras integrantes de la ISA.

Para ganar un contrato, los gobiernos o empresas privadas deben ser apoyados por un país que sea miembro de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. Se vuelve necesario la relación entre países y este organismo.

3.4 Metodología de Exploración para Fondos Marinos.

Para la exploración de un ambiente marino se debe realizar un protocolo el cual queda expuesto a continuación:

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.

Actividades y recopilación de datos de los cruceros 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 rebusca 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, estas 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), estos equipos 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, estos con manejo de oceanografía y tectónica de placas.

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

- 1) Legislación para la Minería Submarina, que asigne presupuestos para esta actividad.

- 2) Un centro de investigación de Minería Submarina que prepare científicos y técnicos, para recopilación y traducción de información.
- 3) Un programa de exploración conceptual y de seguimiento.
- 4) Al menos un buque de investigación oceanográfica, que permita el desempeño de los equipos especializados en los ambientes requeridos.
- 5) Un submarino de diseño para realizar labores de muestreo.
- 6) Centro de almacenamiento y preservación de las muestras, para cuidado de sistemas que requieran recuperación de testigos.
- 7) Central de almacenamiento de datos, esencial para almacenar la información obtenida y asegurar que estos sean fidedignos.
- 8) Laboratorios para realizar los análisis de las muestras, con el fin de la traducción de datos y reacción de futuros planes de desarrollos.

3.5 Equipos y Sistemas de Exploración

Los exploradores son el equipo disponible para la recolección de información de los yacimientos submarinos, esta tarea se ha vuelto muy realizada en los últimos años debido a los 29 contratos de exploración que se encuentran actualmente aceptados por ISA, los exploradores van desde barcos o navíos, hasta drones submarinos, dependiendo los recursos disponibles o la cercanía con la superficie.

La exploración de los fondos oceánicos ha demandado el perfeccionamiento y adaptación de las herramientas existentes y ha incentivado la creación de nuevas tecnologías. Se han obtenido progresos en el uso de ecosondas para batimetría, en el equipamiento de los submarinos para tomar fotografías y recoger muestras (Figura 5), y en la adaptación de sonares y cámaras remolcados a altas profundidades. Los progresos tecnológicos han sido vitales para la investigación de los fondos marinos y han permitido explorar áreas consideradas inaccesibles.



Figura 5 Muestras tomadas para Solwara 1 FUENTE: DSMF [29].

3.5.1 Sistemas de Sonar

Los grandes progresos alcanzados en los sistemas de ecosonda basados en buques superaron las restricciones de poca resolución y definición de los equipos existentes. Los sistemas convencionales no lograban buena precisión en diferencias de alturas menores de unos cientos de metros, en las zonas montañosas de los centros de separación. Por ese motivo se operaban dispositivos ópticos y sensores geofísicos, sin mapas batimétricos detallados, que debían remolcarse a cierta distancia y demasiado lentamente para prevenir su colisión con salientes sobre el fondo. Las técnicas de sondaje más precisas permitieron utilizar escalas con mayor detalle en la batimetría y la observación más cercana (sin peligros). con equipos remolcados y con submarinos de investigación. La Armada norteamericana ha utilizado desde hace algunos años el sonar “Array Survey System” para mapear sectores del fondo oceánico (Figura 6). El Seabeam, su versión civil, es un sistema de ecosondas de emisores múltiples que permite detectar relieves sobre el fondo de 5 metros de altura y 20 metros de largo en profundidades de 3.400 metros. El sistema registra en un inscriptor cartas-tiras de relieve, contra tiempo, información que entrega también en forma digital y que se almacena en cintas magnéticas. El Seabeam se utiliza en el buque francés Jean Charcot desde 1977 y en el Surveyor (buque de la Oficina de Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica, NOAA). desde 1980, en el buque alemán Sonne, desde 1981, y en el buque norteamericano Thomas Washington, desde el presente año [12].

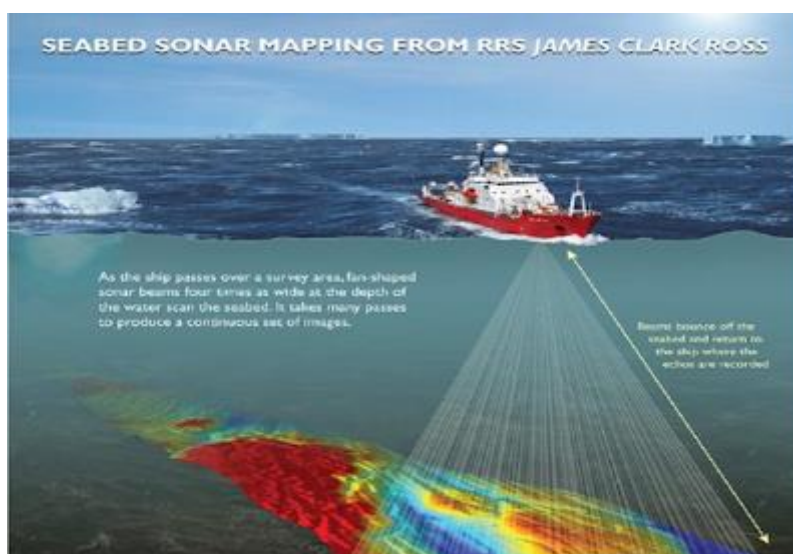


Figura 6 Multihaz del fondo marino de RRS James Clark Ross Fuente: British Antarctic Survey

3.5.2 Sistemas Remolcados a Alta Profundidad

Los sistemas con instrumentos remolcados de 10 a 200 metros sobre el fondo marino han jugado un papel transcendental en la exploración de los fondos oceánicos (Figura 7). Uno de ellos, mantenido por el Laboratorio Físico Marino de Scripps, ha estado recogiendo datos de gran precisión desde 1960 y tiene las siguientes capacidades:

1. Navegación con emisores/contestadores (transpondedores) recuperables que se colocan en el fondo oceánico. Alcance, 15 kilómetros; precisión, 5 metros.
2. Ecosondas con observación hacia arriba y hacia abajo (hacia abajo con un haz de 4°), para dar las señales con una precisión de 2 a 3 metros en profundidades de 7.000 metros.
3. Magnetómetro Protón de precisión, con intervalos de repetición controlable a partir de los 10 segundos.
4. Sonar de observación lateral (un canal a cada banda). con un ancho de haz horizontal de $\frac{3}{4}^\circ$.
5. Un sonar de penetración del fondo, con un alcance superior a 50 metros en fondos sedimentarios.
6. Un sistema fotográfico convencional estéreo (55° de campo). y gran angular (90° de campo)., utilizando una lámpara estroboscópica de 200 watt-segundo capaz de obtener fotografías en aguas profundas a 12 metros sobre el fondo.

7. Sistemas de medición de temperatura capaces de detectar diferencias de 0,001 °C. 8. Sistemas de televisión con iluminación estroboscópica, con medio segundo de barrido y telemetría de banda angosta.

Además de las contribuciones efectuadas por estos avanzados equipos, sus datos, tales como perfiles batimétricos de detalle, registros de sonares de barrido lateral y fotografías del fondo, aportan informaciones necesarias básicas, para continuar las investigaciones con submarinos. [12].

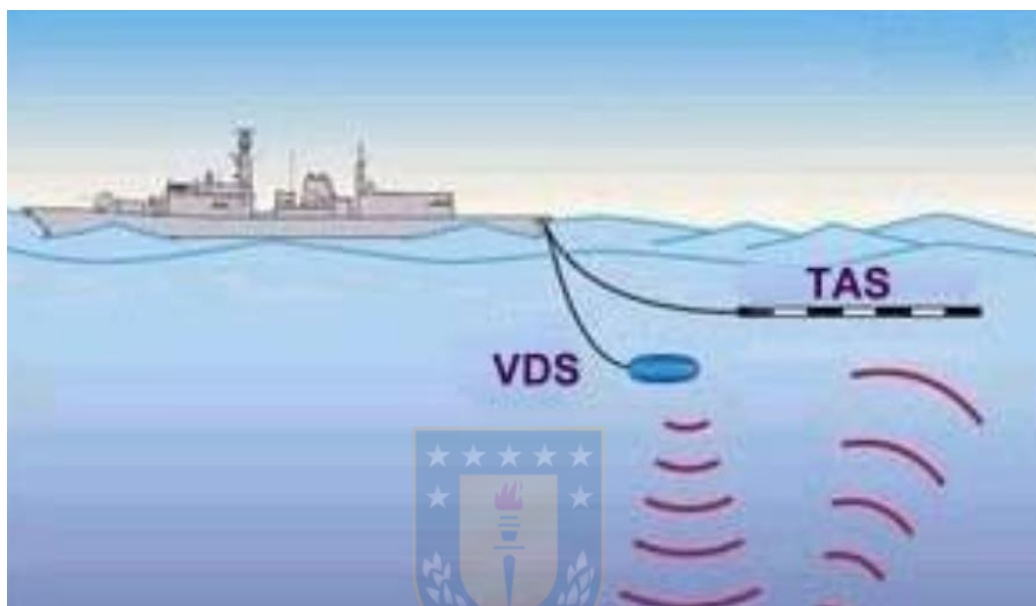


Figura 7 Buque con Sistema VDS (Variable). y Sistema de Remolcado (TAS). Fuente: COMUNIDAD SUBMARINISTICA LATINOAMERICANA

3.5.3 Submarinos de Investigación

Los submarinos con control local permiten a los científicos descender a grandes profundidades para efectuar observaciones directas, registrar datos fisicoquímicos y sacar muestras. Uno de ellos es el Alvin (Figura 8), propiedad de la Oficina de Investigación Naval Norteamericana; es operado por WHOI con la cooperación de la Fundación Nacional de Ciencias, la NOAA y la Oficina de Investigación Naval, y ha sido intensamente utilizado en las investigaciones de las fumarolas hidrotermales. El programa de Alvin se inició en 1961 con el propósito de usar un submarino de alta profundidad en investigaciones de acústica submarina y de geología y biología del fondo oceánico. En 1965, el Alvin tenía una profundidad de operación hasta 1.800 metros. Posteriormente se le introdujeron modificaciones a su diseño e ingeniería. Ahora efectúa sumergidas de rutina de 2.400 a 3.100 metros de profundidad para tomar muestras de agua y sacar muestras biológicas y de rocas con sus dos brazos a control remoto. Además, mide temperaturas ambientales y toma fotografías con cámaras exteriores al casco. El Alvin es un

submarino para tres pasajeros y tiene un casco esférico de titanio capaz de soportar presiones de hasta 50.000 libras por pulgada cuadrada; puede permanecer sumergido y en movimiento durante 12 horas, y en casos de emergencia hasta 36 horas. Demora 90 minutos en sumergirse a 2.600 metros de profundidad [12].



Figura 8 Deep-Sumergence Vehicle "Alvin" de la US Navy. Fuente: Vadebarcos.net

3.5.4 Barco de Perforación

Este equipo flotante (Figura 9) ha sido adaptado a los trabajos de perforación submarina. Ampliamente desarrollado para la exploración de hidrocarburos, esta adaptados para portar todos los elementos necesarios para los trabajos de perforación.

La torre de perforación está ubicada en medio del barco, donde existe una abertura en el casco que permite el paso de la sarta. El barco debe permanecer fijo durante las labores de perforación, tanto vertical como horizontalmente. Para ello usan equipos de anclado en las aguas tranquilas (lagos) y en el caso de océanos y mares, donde existe movimiento debido a las mareas se usan posicionamientos dinámicos que apoyados por información GPS, identifican la posición del barco [13].

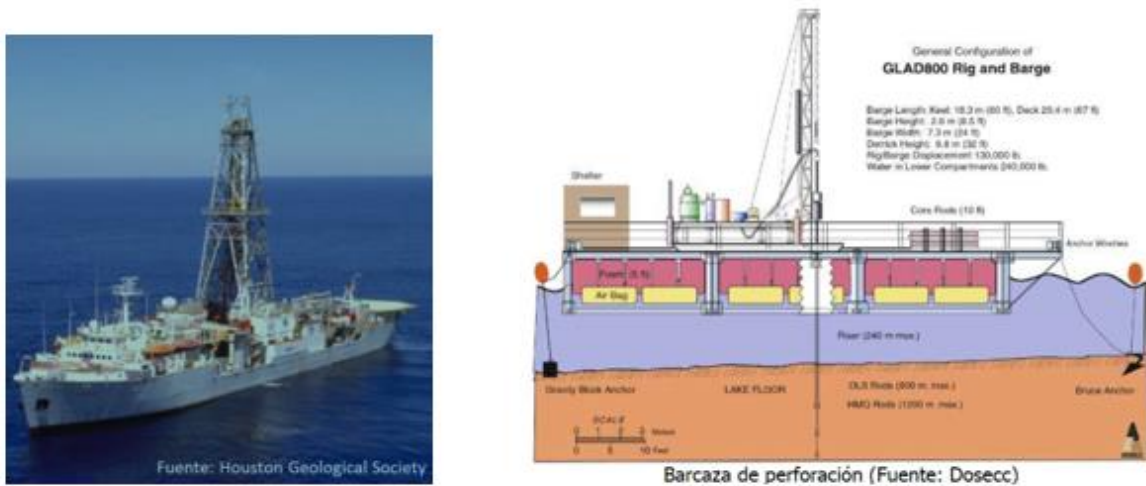


Figura 9 Barco de Perforación. Fuente: [13].

3.5.5 Perforación con uso de Equipo Sumergible

Es posible realizar las labores de perforación mediante equipos robóticos y sumergibles, las técnicas robóticas de perforación proporcionan otro punto de vista en la toma de muestras sin necesidad de disponer de una gran torre de perforación, este equipo es ubicado en el fondo marino, separado del movimiento del buque. Esta tecnología nació para la extracción de testigos en aplicaciones científicas, pero pronto se visualizó su aplicación comercial en la extracción de muestras, debido a que es más fácil de situar que un barco de perforación en lugares remotos.

La perforación robótica tiene las siguientes ventajas:

- Permite llevar a cabo el trabajo sin el uso de barcos costosos o equipos limitados.
- Reduce los costos de movilización y de reubicación de un barco de perforación.
- El barco se encuentra desacoplado del equipo, por lo cual, no es un problema realizar los procedimientos con gran oleaje.
- La perforación en aguas profundas no requiere una sarta de perforación para salvar toda la columna de agua.
- Los equipos robóticos pueden comenzar a perforar en roca expuesta mientras que los sistemas desde barcos requieren una pequeña capa de sedimento para estabilizar la boca de perforación.

Estos equipos (Figura 10) son descendidos al fondo marino unido a un “cable umbilical”. Los testigos recuperados y otras muestras son almacenados en la plataforma submarina y no existe ninguna sarta de perforación conectada a la superficie. El cable umbilical es la parte crítica del sistema; este consiste en varios cables conductores de cobre, fibra óptica o conductores eléctricos para emitir y recibir señales de control, monitorización del sistema, y la línea de video

y datos. El cable debe tener suficiente resistencia para soportar el peso del equipo, incluyendo los testigos y muestras, en el viaje de retorno al barco desde el fondo marino [13].

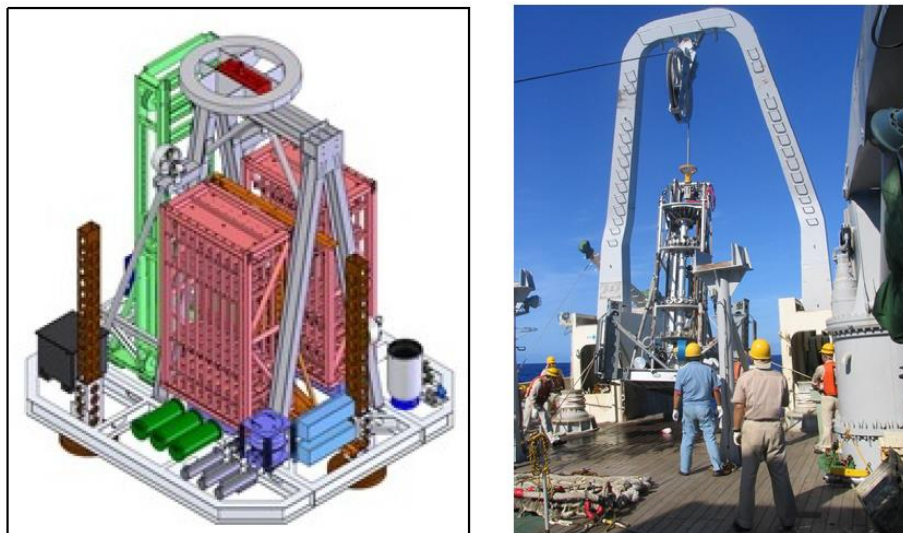


Figura 10 Equipo Sumergible Fuente: [13].

3.6 Tipos de Principales Reservas

Los yacimientos en tierra pueden ser clasificados según su disposición y composición, así también pueden ser encontrados en las profundidades oceánicas distintos tipos de yacimientos, nacidos de la tectónica terrestre. El margen continental de Chile se caracteriza por ser uno de los más activos a nivel mundial, en términos tectónicos. Desde el punto de vista fisiográfico, la fosa Chile-Perú es única por su forma casi rectilínea a través de varios miles de kilómetros. Esta fosa es el elemento morfológico dominante, que persiste como unidad estructural desde la costa de Colombia hasta la Tierra del Fuego. La fosa fue reconocida como un elemento fisiográfico mayor hace más de 100 años, cuando en 1895, sir John Murray publicó una primera carta batimétrica basada en sondeos realizados para la colocación de las líneas del telégrafo submarino (Murray, 1895). Su profundidad máxima es de 8065 m cerca de los 23° 20' S, siendo la más profunda del Pacífico Suroriental [14].

Debido a la gran actividad tectónica del país es posible la gran diversidad mineral, en el ámbito de la minería submarina existen 4 tipos de depósitos que pueden ser encontrados, como son nódulos de manganeso, costras cobaltíferas, sulfuros polimetálicos y sedimentos metalíferos (Figura 11) para fines del estudio solo se mencionaran los primeros 3.

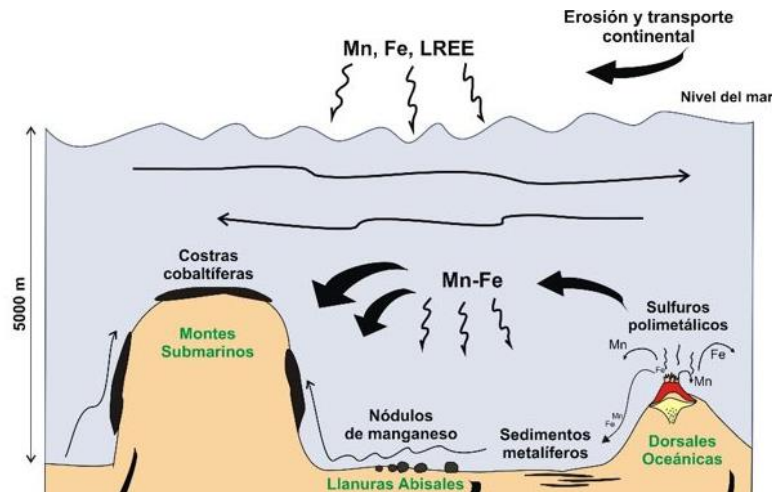


Figura 11 Ubicación de sulfuros polimetálicos, nódulos de manganeso y costras cobaltíferas en dorsales mesoocéánicas, llanuras abisales y montes submarinos. Fuente: [9].

Tabla 2 Composición de Yacimientos y Profundidades Relacionadas Fuente: Creación Propia

Tipo de Yacimiento	Profundidad Promedio (m)	Recursos Encontrados
Nódulos de Manganeso	4000 - 6000	Níquel, Cobalto y Manganeso
Costras Cobaltíferas	800 - 2400	Cobalto, Vanadio, Molibdeno y Platino
Sulfuros Polimetálicos	1400 - 3700	Cobre, Plomo, Zinc, Plata y Oro

Recolectar nódulos de manganeso es solo uno de tres tipos de minería abisal. Los otros dos métodos, mucho más controversiales, son, primero, la excavación de costras de cobalto que se forman en las rocas de las laderas de los montes submarinos. Segundo, la extracción de los depósitos masivos de sulfuros, que son trozos de metales generados en las fisuras o chimeneas hidrotermales que existen a lo largo de la zona de generación de corteza oceánica. (Figura 12)

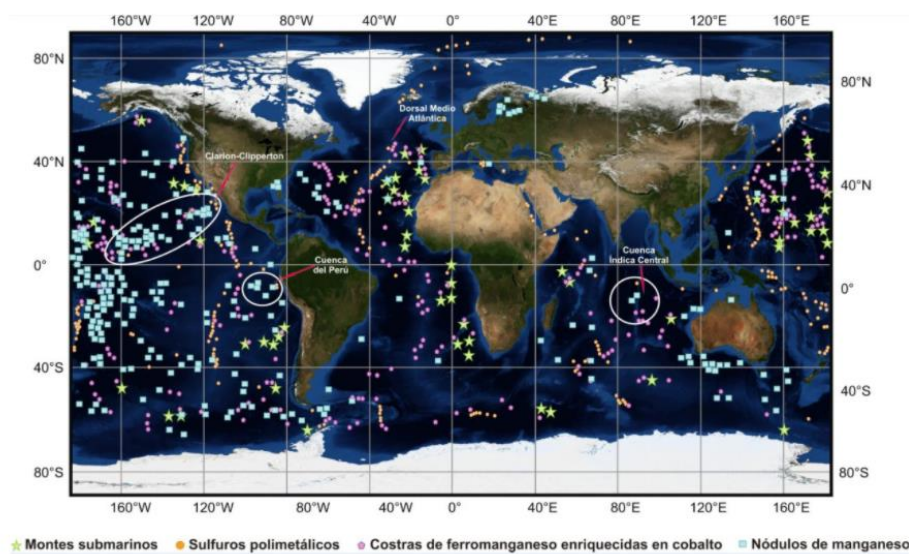


Figura 12 Distribución de Yacimientos Marinos a Nivel Mundial Fuente: Sitio TierrayTecnología

3.6.1 Nódulos de Manganeso

Los nódulos de manganeso (Figura 13), son sedimentos auto génicos formados por capas concéntricas de hidróxidos de hierro y manganeso que crecen a partir de un núcleo, el cual generalmente es microscópico. Si se le observa a simple vista puede ser por restos fósiles de dientes de tiburón, fragmentos de basalto, pómez, e incluso puede ser un fragmento de nódulo previamente formado. El tamaño de los nódulos puede variar desde partículas microscópicas llamadas micro nódulos, hasta nódulos mayores que 20 cm, alcanzando con frecuencia entre los 5 y 10 cm de diámetro. La existencia y abundancia de los nódulos polimetálicos en el océano es muy variable ya que su formación depende de diversos factores, tales como bajas tasas de sedimentación, disponibilidad de núcleos, zonas de alta productividad, la topografía del fondo marino y la proximidad a Fuentes de suministro de metales. Los nódulos se ubican generalmente en cuencas oceánicas profundas pues en ellas se tienen las condiciones necesarias para su crecimiento [15].

Los nódulos polimetálicos, también llamados antiguamente nódulos de manganeso, se sientan en la parte superior del lecho marino, pueden hallarse entre los 4-6 km de profundidad y se pueden recolectar sin perforar ni tener que mover rocas o tierra. Están hechos de casi un 100% de minerales utilizables, en comparación con los minerales extraídos de la tierra que tienen rendimientos cada vez más bajos (a menudo por debajo del 1%). Esto significa que la recolección de nódulos tiene un 99% menos de desechos sólidos en comparación con la minería terrestre y no genera relaves tóxicos.

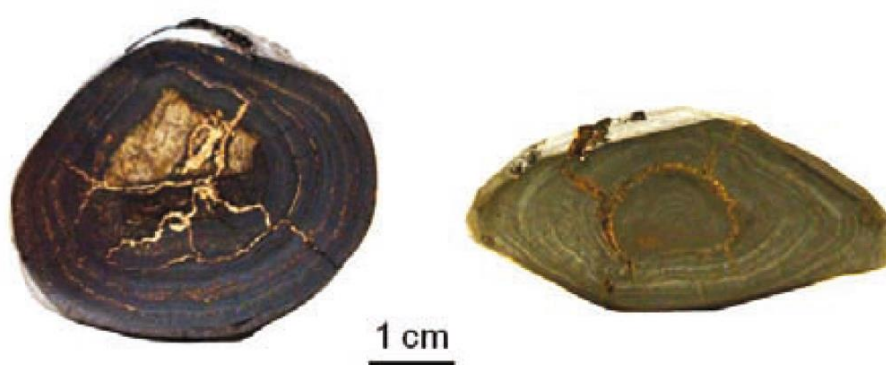


Figura 13 Nódulos de Manganeso Fuente: [15].

3.6.2 Costras Cobaltíferas

Actualmente el cobalto, el telurio y las tierras raras entre otros elementos, se han posicionado como metales estratégicos para el desarrollo de la sociedad moderna. El uso principal que se les da a estos metales está relacionado con la denominada “alta tecnología”, ésta se refiere a aleaciones especiales, TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones) e industria militar. La escasez de estos metales en tierra y la demanda cada vez mayor de los mismos hace que el medio marino vaya cobrando mayor protagonismo y se posicione como una alternativa viable para la obtención de este y otro tipo de metales desde yacimientos minerales submarinos (Rona, 2008; Somoza y González, 2011; Hein et al., 2013), esto nacido de la posibilidad de extracción de un tipo de yacimiento llamado costras cobaltíferas.

En el lecho marino existen montes submarinos que muy frecuentemente presentan costras de ferromanganeso ricas en cobalto (Figura 14). Una de las características más interesantes de este tipo de mineralizaciones es la porosidad de las costras, de hasta el 60 % (Hein et al., 2009), que favorece la adsorción de múltiples metales en la composición de los oxihidróxidos de Fe-Mn por intercambio de cargas iónicas y favorecida por el efecto de la gravedad. Así pues, los montes submarinos pueden estar cubiertos por extensos enlosados o suelos duros de costras de hasta 25 cm de grosor, compuestas por proporciones variables e importantes de telurio (Te), cobalto (Co), níquel (Ni), bismuto (Bi), tungsteno (W), niobio (Nb), platino (Pt) y tierras raras (REEs) [11].



Figura 14 Fragmento de Costra Cobaltífera. Fuente: AIDA Andrés Ángel.

3.6.3 Sulfuros Polimetálicos

Depósitos minerales (Figura 15) formados cerca de las chimeneas hidrotermales (fracturas geológicas que expulsan agua caliente), a profundidades de 1,000 y 3,700 m. Pueden contener cobre, zinc, plomo, bario, oro y plata. Se le ha dado el nombre de sulfuros polimetálicos a los minerales con alto contenido metálico, leyes estimadas del que se han encontrado en las áreas geológicamente activas en el fondo de los océanos.

Su descubrimiento, más que una sorpresa, fue una confirmación de su existencia, prevista durante varios años de ardua investigación geológica, física y química de las dorsales meso oceánicas del Pacífico y del Atlántico. Estos depósitos se pueden ubicar en Dorsales oceánicas, principalmente en el Océano Índico. Los depósitos de sulfuros polimetálicos se encuentran en los centros o zonas de separación, lugares donde se está formando nueva corteza terrestre. Ellos conforman los límites de las placas tectónicas y abarcan sobre 75.000 kilómetros de extensión lineal. Los depósitos se han encontrado a profundidades de 1.900 a 2.600 metros, en las siguientes áreas: La montaña de las Galápagos (240 millas al este de las islas Galápagos y alrededor de 350 millas al oeste del Ecuador).; el mar Rojo; la Dorsal del Pacífico Oriental (13 grados y 21 grados norte); frente a las costas de Méjico; la bahía de Guaymas, en el golfo de California; y la cordillera de Juan de Fuca, frente a la costa noroccidental de los Estados Unidos [12].

En las dorsales oceánicas del Océano Atlántico del Norte, existen ya 3 contratos para explorar/explotar los ventiladores termales, Rusia (2012), IFREMER (Francia) (2014) y Polonia (2018). En la dorsal del Océano Índico existen ya 4 contratos para esos ventiladores oceánicos, a saber, China (COMRA en 2011), Corea (2014), BGR-Alemania (2015) e India (2016). Las provisiones de la CONVEMAR establecen que estos contratos expiran en 15 años. Los primeros contratistas que deberán decidir por una extensión o aplicación por explotación son en 2027 [7].

La extracción de estos sulfuros es considerada factible con procesos similares a los utilizados en las explotaciones terrestres. Destaca en usos dentro del proceso de galvanización (recubrimiento de un metal con otro). en el caso del Zinc extraído, el plomo es utilizado en baterías, y para el Bario en fluidos empleados en perforación (petróleo y gas natural)., pinturas, concretos especializados (anti-rayos-X o en plantas nucleares). e industria automotriz. Y considerar el uso común del resto de materiales como oro y plata, joyería y demás.



Figura 15 Sulfuros Polimetálicos Bajo el Mar. Fuente: [9].

3.7 Cantidad de Reservas disponibles en Chile

Como es sabido, Chile cuenta con una gran Zona Económica Exclusiva (ZEE). de 4.264.560 km². Si se la compara con la superficie del territorio continental, resulta ser más de cinco veces mayor. Es en este espacio marino donde coexisten cordilleras submarinas, una de las fosas más extensas, cordones volcánicos y grandes llanuras abisales. (Cortés, 1999) A lo largo del borde submarino chileno existen grandes reservas metalíferas, Se pueden encontrar nódulos de manganeso, así como costras cobaltíferas y sulfuros polimetálicos submarinos. Un área comprobada mediante estudios es la Cuenca del Perú, por la proximidad marítima con esta zona Chile puede inferir la existencia de zonas mineras importantes en su ZEE. Definida como la zona donde el país tiene derecho de exploración y explotación de los recursos presentes en esta área (Figura 16)

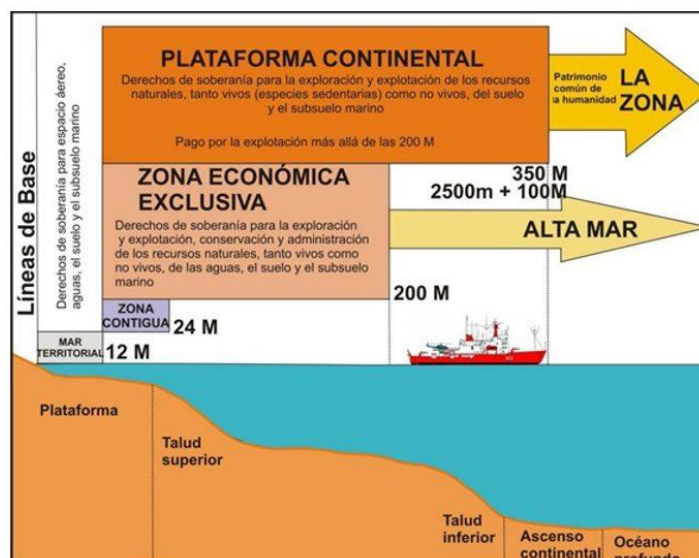


Figura 16 Clasificación Zonas Adyacentes a la Costa. Fuente: U. De Valparaíso.

Hay dos regiones de alto interés de investigación de parte de la comunidad científica internacional, así como se han realizado búsquedas de mineral tiempos de boom económico de este rubro (Figura 17); éstas son: La zona adyacente a la isla de Pascua, en la Dorsal del Pacífico Oriental y la zona adyacente a la península de Taitao. La primera presenta un centro divergente o de separación de muy alta velocidad y de gran actividad volcánica, las investigaciones en busca de sulfuros polimetálicos en esa área se iniciaron a fines de febrero de 1983 por el buque de investigación Thomas Washington, de la Universidad de California, y por el buque de investigación "Sonne", de la firma Preussag de Alemania. En ambas expediciones han participado representantes del gobierno de Chile, por cuanto los trabajos se efectuaron dentro de aguas jurisdiccionales. La segunda, en el continente y en latitud 47° sur, es similar a Juan de Fuca, donde también se produce el encuentro de una montaña submarina de volcanes activos con una fosa. Justo en la misma latitud tenemos, tierra adentro, los yacimientos de cobre, plomo y zinc del lago General Carrera a los que se atribuye formación marina. Entre Pascua y Taitao corre una extensa cordillera submarina con actividad volcánica, denominada la Dorsal de Chile, que constituye el límite de separación entre la Placa Nazca y la Placa Antártica. Esta ha sido escasamente estudiada. Científicos norteamericanos, alemanes y franceses concuerdan en que la Dorsal de Chile en sí y sus dos extremos, oriental y occidental, por ser zonas de separación activas, presentan buenas perspectivas para la formación de sulfuros polimetálicos [12].

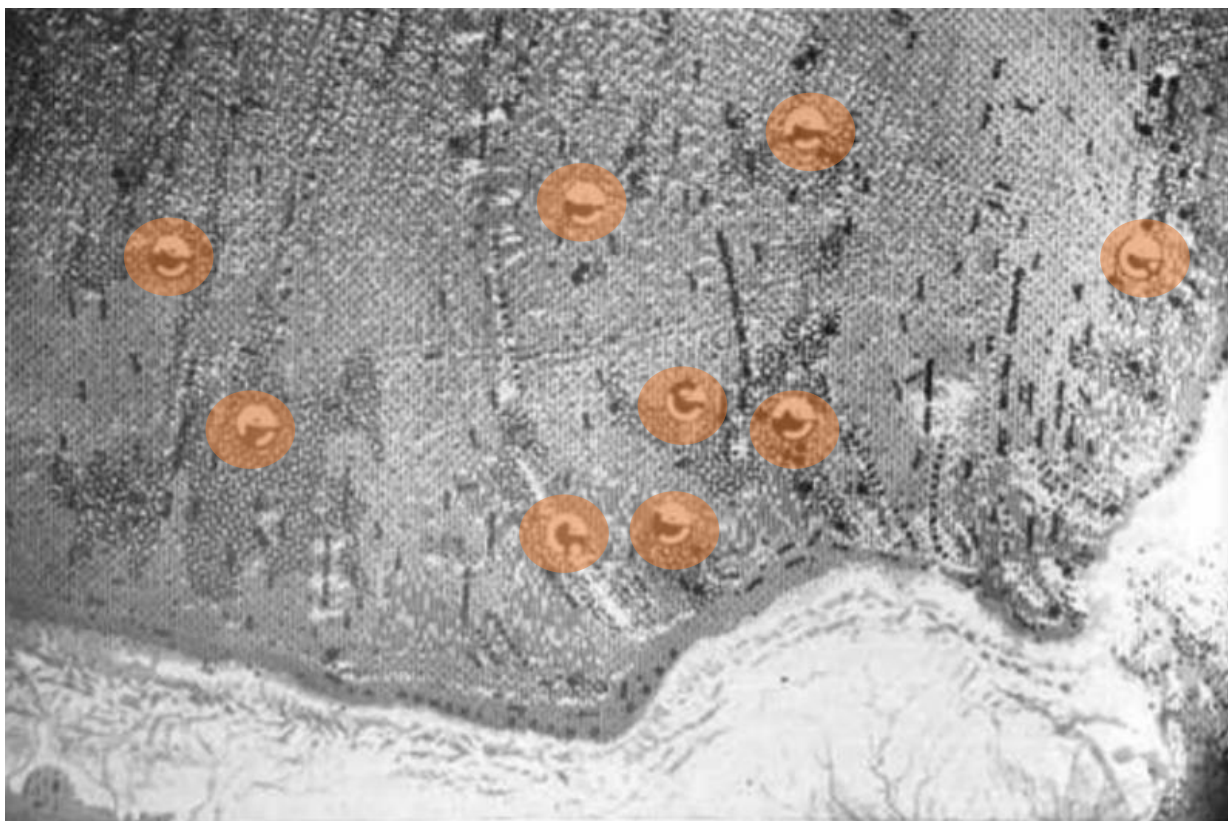


Figura 17 Presencia de Nódulos Polimetálicos en Chile Fuente: Revista de Marina

Los depósitos de mayor interés comercial (Figura 18) se encuentran a profundidades entre 4.000 y 5.500 metros, a razón de 10 a 25 kg. por metro cuadrados, con un contenido de Ni + Cu + Co sobre 2,5%. En Chile se conocen los siguientes sectores: - Alrededor de isla Robinson Crusoe (30°23 lat.sur, 78°58 longitud). a 3.820 metros de profundidad, esta área está dotada de nódulos de manganeso se estima una relación de entre 4 a 5 kg por metro cuadrado, se encuentra a 662 km del puerto más cercano en Lebu, en la región del Biobío. Se muestreó un campo de nódulos de 4 a 5 kg/m², con una ley combinada de Ni + Co + Cu = 0,87%. En el sector que bordea el flanco oceánico de la fosa, a la latitud de la desembocadura del río Loa, a 4.332 metros de profundidad (31°20 lat.sur, 73°50 longitud y 3280 mbnm), en la región de Antofagasta. El puerto más cercano a este depósito se ubica a 360 Km en Tocopilla. Se muestreó un campo con un contenido de Cu + Ni de 1,38%. Costras ricas en manganeso: se encuentran adheridas a la superficie rocosa de montes submarinos. Los depósitos de mayor ley se ubican a profundidades entre 1.000 y 2.000 m. Las costras típicas tienen leyes de 0,65% de cobalto, 0,45% de níquel, menos de 0,1% de cobre, 20 a 25% de manganeso y algunas décimas de gramo de platino por tonelada. Un yacimiento hipotéticamente explotable debería tener costras de 4 a 5 cm. de espesor, con 0,8 a 1% de cobalto, 0,5 a 0,7% de níquel, menos de 0,1% de cobre, 20 a 25% de manganeso y 0,3 a 0,7 gramos de platino por tonelada. El área chilena más promisoría parece ser el cordón volcánico del cual forman parte las islas Salas y Gómez, San Félix y San Ambrosio

y, en segundo lugar, las cuencas sedimentarias que rodean a isla de Pascua, que contienen costras ricas en cobalto. El contenido metálico de los primeros es bajo en cuanto a Cu + Ni (0,25 a 0,30%), pero es relativamente interesante en cuanto a manganeso (10%) [16].

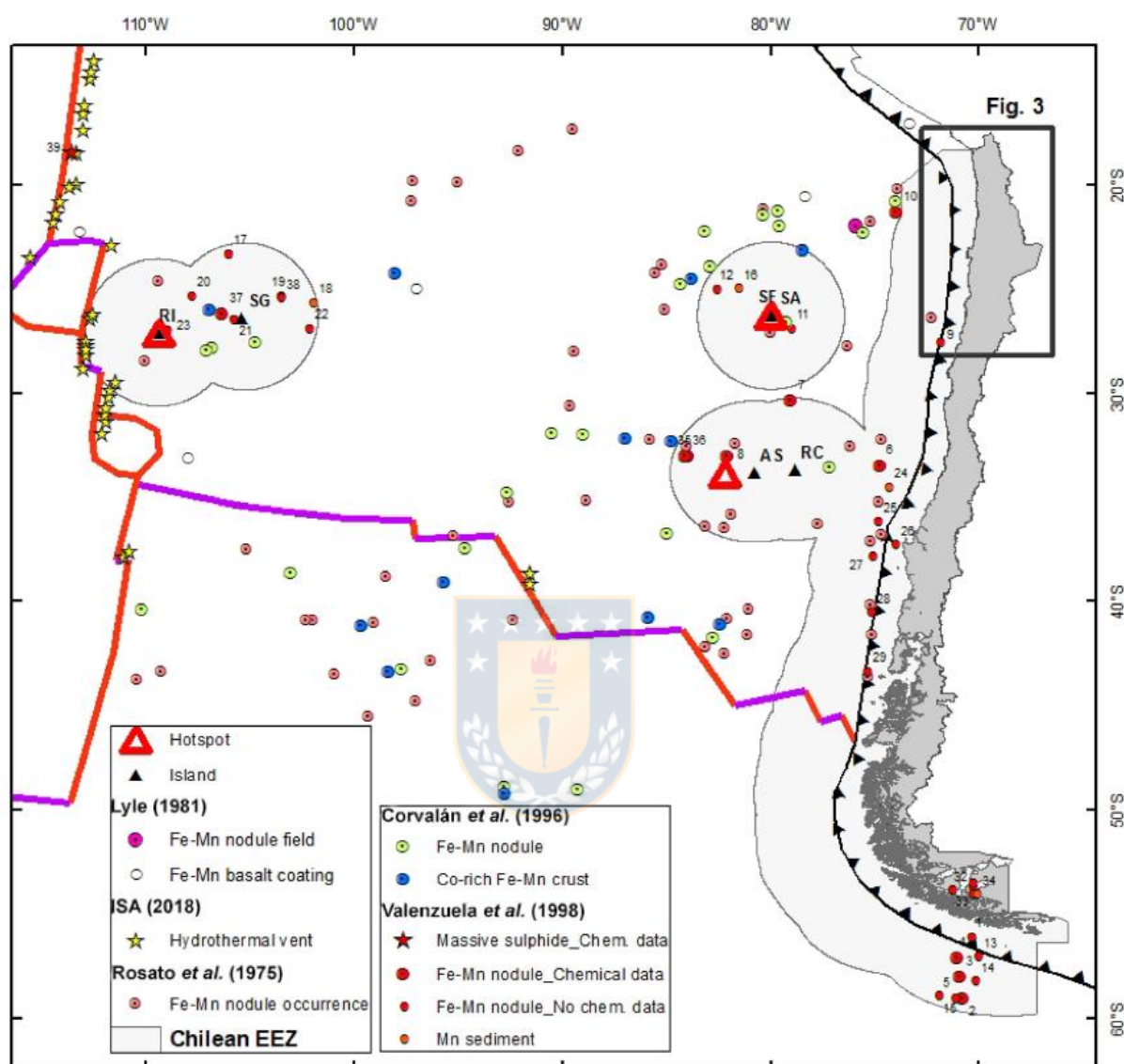


Figura 18 Mineralogía de ZEE Chilena Fuente: Departamento de Geología, U. de Chile.

Capítulo 4: Explotación de Fondos Marinos

Los sistemas de extracción de material (Figura 19) dependerán de la profundidad del yacimiento y la disposición de este, puede variar entre 300 m a 6000 m, mientras que los yacimientos de costras cobaltíferas se encuentran a menor profundidad, hay nódulos que pueden estar bastante alejados de la superficie.

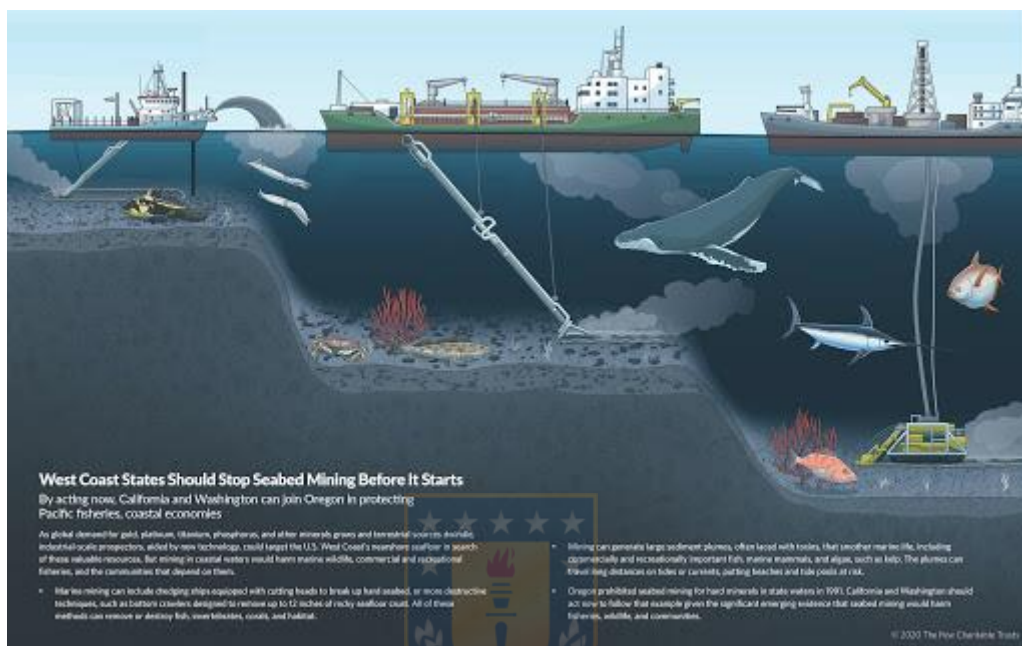


Figura 19 Métodos de Extracción Submarino Fuente: Beachapedia.com

4.1 ROV's (Remotely Operated Vehicles).

Para recoger minerales de yacimientos de lecho marino se utiliza un sistema similar a los terrestres compuesto de 3 procesos, extracción, recolección y transporte, usando perforadoras y otras herramientas de corte y también de transporte mediante una metodología de control remoto. Una vez ubicado el emplazamiento, se instala una estación o barco para extraer mineral del área, e inicia el método ROV's (Figura 20) de esta forma tanto investigadores como mineros han podido sondear los fondos marinos, encontrando estos tesoros hundidos que se pueden visualizar como los precursores del futuro. Este método necesita gran ingreso tecnológico debido a su uso del control a distancia y al uso de equipos de recolección para ambiente especializado (Figura 21). La primera minera submarina "Solwara I" está en función gracias a este método implementado para yacimientos SMS. El funcionamiento ha sido posible bajo los 1500 m de profundidad y es viable incluso si el yacimiento no se encuentra concentrado en un solo lugar.

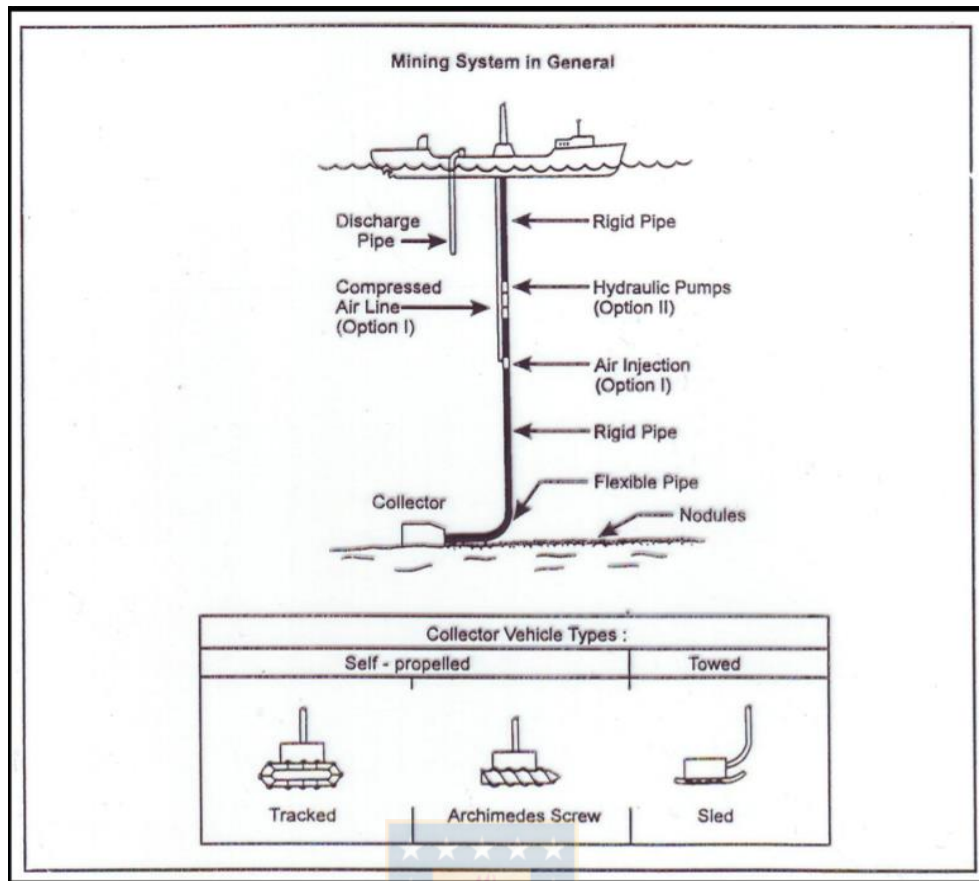


Figura 20 Esquema del Método Rov's Fuente: Ore 330 Mineral and Energy: Resources of the Sea.



Figura 21 Equipos Remotos de Extracción Submarina Fuente: DSMF [29].

4.2 CLB (continuos-line bucket).

Sistema diseñado para utilizar una línea de cubetas de extracción de material del lecho marino hacia el sistema de almacenamiento y transporte, el cual en estas condiciones es un barco, la

línea suele recoger el material depositado en el lecho y alzarlo hacia la superficie para ser depositado en el barco; esta metodología presenta 2 grandes variantes, la común llamada CLB y su variante con más libertad llamada PLA (Autonomous Robot Submersible Shuttle) (Figura 22). El primer caso una línea de cubetas, la cual representa un sistema rígido debido a que la línea misma de cubetas se encuentra conectada mediante una cadena lo que produce que el sistema pueda recoger el material en un área específica, similar a un sistema de dragado, el sistema se encuentra limitado por la extensión de la línea, mientras la variante "PLA" comprende un sistema de vehículos submarinos autónomos, cumpliendo una similitud a un sistemas de LHD, que reúnen el material para trasladarlo al barco, debido a esto las zonas de las cuales puede ser extraído el material puede estar separado un punto de extracción de otro. Siendo el método CLB tecnológicamente más fácil de aplicar que PLA

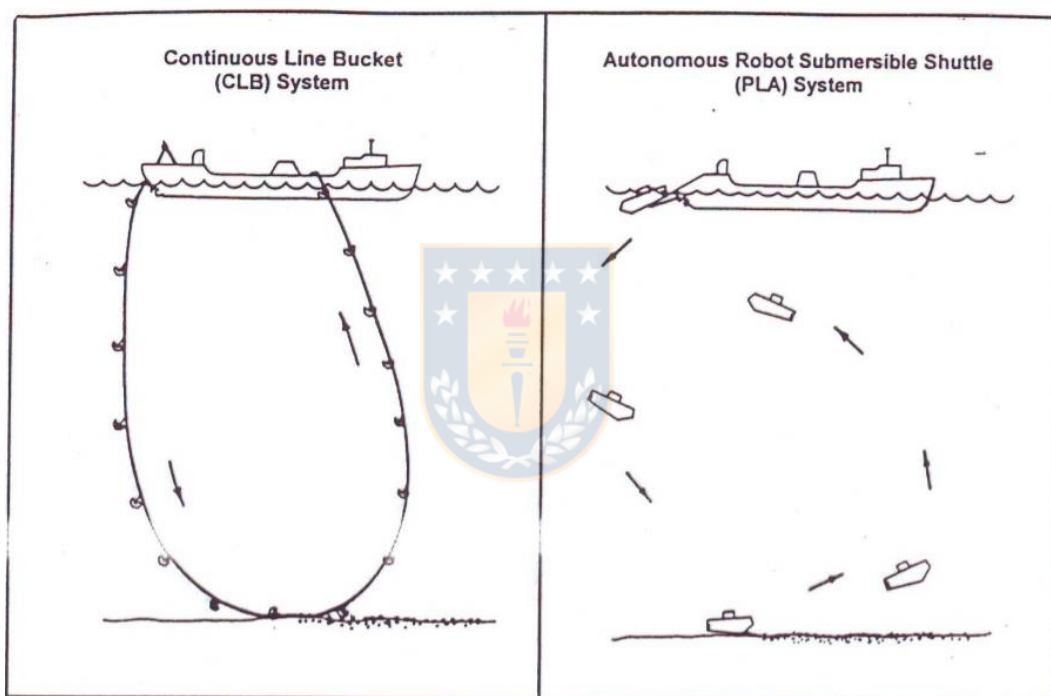


Figura 22 Sistemas de Extracción CLB y PLA. Fuente: Ore 330 Mineral and Energy: Resources of the Sea.

4.3 Sistema de Succión Hidráulica

Este sistema utiliza tuberías de succión para retirar el material del fondo y así trasladarlo al barco, también se considera parte del sistema de retorno de arenas o material sin valor mineral, la succión hidráulica puede verse como el uso de una poderosa aspiradora que arrastra el material particulado que se encuentra en la superficie del lecho marino (Figura 23), si bien este método no es capaz de extraer material incrustado o unido al lecho u rocas grandes, es un eficiente sistema de barrido, dado que los nódulos de manganeso suelen ser rocas depositadas sobre el lecho marino, o bien los yacimientos compuestos de material sedimentarios pueden ser extraídos

sin ser requeridos esfuerzos de corte o mayor intervención del lecho. Los factores en contra de este sistema son: el arrastre de biota propia del mar y el abandono del material que no se encuentra fragmentado de manera natural o está arraigado en las rocas de mayor tamaño en el fondo.

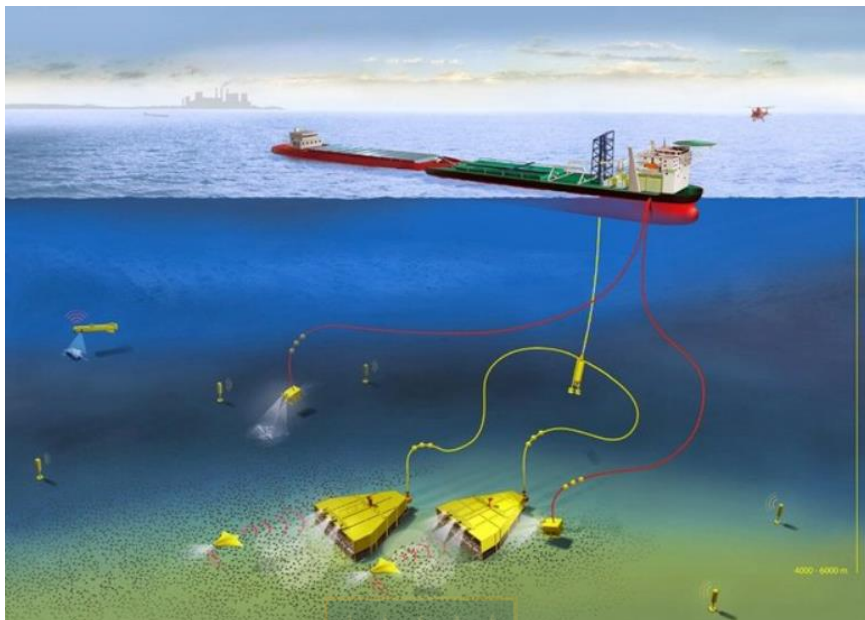


Figura 23 Esquema de Sistema de Succión. Fuente: Commodities Venezolanos

4.4 Dragado

Principalmente implementado desde un barco, tiene su igual terrestre y el funcionamiento es muy similar, este equipo requiere una conexión sólida y concreta al barco que la traslada por lo cual su longitud y movilidad es acotada, considerando esto las posibilidades de su funcionamiento quedan acotadas al tipo de yacimiento que se quiera explotar, puede ser implementado preferentemente en un yacimiento de poca profundidad y con una disposición alargada, si lo llevamos al contexto de la minería submarina sería beneficioso para la extracción de costras ricas en cobalto, debido a que es la excavación de montes submarinos. Los sistemas de dragado (Figura 24) implementados en el mundo conocidos como los más profundos alcanzan los 220 metros, debido a esto es un sistema poco compatible con la minería de aguas profundas, en caso de nódulos que podrían ubicarse bajo los 1500 m hasta incluso los 3000 m de profundidad; sin embargo, en el caso de las costras cobaltíferas las cuales se encuentran en montes submarinos pudiera ser compatible. Los casos de dragado más profundo son los correspondientes a las Dragas “Cristóbal Colon” y su gemela “Leiv Eiricksson”.

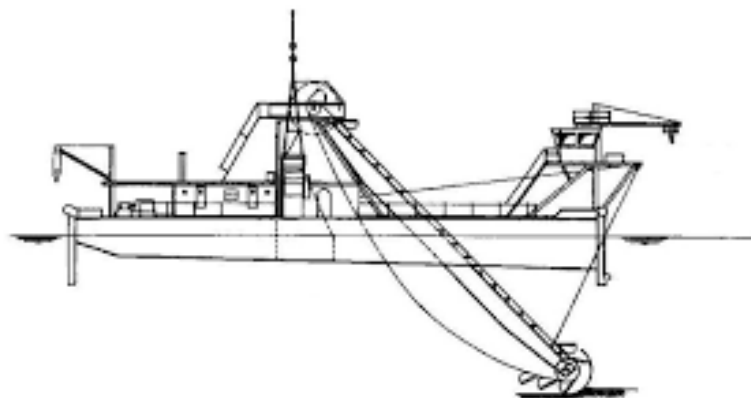


Figura 24 Esquema de Sistema de Dragado. Fuente: Universidad Austral

4.5 Equipos Mineros de Producción

Para el funcionamiento de los sistemas de extracción submarinos son necesarios distintos tipos de equipos según la función que cumplan dentro de la faena, existen 3 procedimientos mayormente definidos dentro de los métodos de extracciones o bien pueden ser llamadas 3 estaciones del protocolo; la primera, es la remoción del material desde el fondo marino ya sea cortado o arrancado del lecho; como paso secundario está el transporte del material, por lo general realizado por tuberías o cubetas, para finalizar en el almacenamiento y devolución de material que no es beneficioso o el similar al estéril en una faena terrestre. Dentro de las empresas dedicadas a la exploración y tecnología para la minería submarina es dable mencionar algunas como COMRA (China) y JOGMEC (Japón).

La textura superficial de los nódulos de manganeso es variable, ya que estas pueden ser lisas, rugosas y mixtas, lo que implica que la superficie en contacto con el agua es lisa y la que se encuentra en contacto con el sedimento es rugosa. La morfología de los nódulos puede ser esferoidal, discoidal, cilíndrica o irregular. Ambas dependen de la génesis del nódulo y de la forma del núcleo, así como de las fracturas que presentan durante su formación. De esta forma su manera de extracción puede variar en base a lo requerido; por ende, se han generado distintos tipos de equipos de funcionamiento submarino. Así también costras y sulfuros pueden variar por lo cual la tecnología ha requerido adaptaciones para su funcionamiento en las estaciones de protocolo.

Este capítulo principalmente se centra en los equipos cuya función es más importante, sin considerar equipos secundarios o de uso menor, vale decir, bombas, motores y maquinaria utilizadas en el barco o en otras instancias.

4.5.1 Cortador Auxiliar

Para situaciones donde la roca no pueda ser removida directamente del lecho fue creada esta máquina cuya función es corte y creación de nivel de trabajo para el cortador principal; debido a que la tronadura no es usada en estos sistemas es necesario cortar o arrancar el material de manera mecánica y este procedimiento es realizado para luego reunir el material y así llevarlo a superficie, su diseño y construcción se ha llevado a cabo de tal manera que es un equipo capaz de funcionar bajo los 1500 metros de profundidad; si bien las configuraciones de la maquina pueden adaptarse al entorno en que será utilizada, sus piezas principales son cutter-heads con la cual va cortando y construyendo nuevos niveles y la disposición de estas le permite mayor flexibilidad que otros equipos. Estos son denominados heavy duty tracks afines al suelo del fondo marino, su armadura contra la presión del fondo y las tuberías y colectores asociados (Figura 25).

NAUTILUS AUXILIARY CUTTER

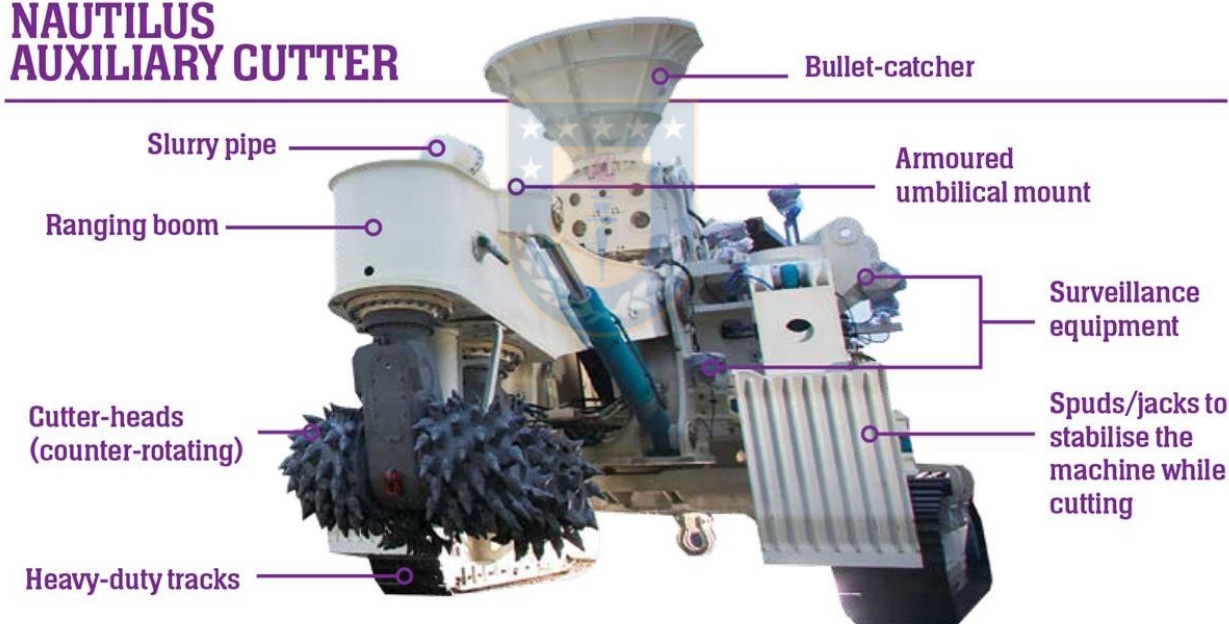


Figura 25 Cortador Auxiliar Utilizado por DSMF Fuente: [29].

4.5.2 Cortador a Granel

Esta máquina (Figura 26) tiene por propósito ser el principal método de corte de material debido a que en condiciones donde los minerales no están libres sobre el lecho y no pueden ser extraídos solo por fuerza de succión es necesario separarlos para facilitar su transporte a través de los conductos de extracción y juega un papel importante dentro del sistema de extracción por vehículos submarinos remotos, permitiendo reducir el tamaño del material de tal forma que pueda ser absorbido por el sistema de recolección en una mezcla de roca, arena y agua de mar; su

símil terrestre sería el sistema de corte utilizado en canteras, y reemplazaría el área de perforación y tronadura en los casos de la minería de mayor tamaño. Puede funcionar en el fondo del lecho o en bancos construidos por el cortador auxiliar.



Figura 26 Cortador a Granel Fuente: DSMF [29].

4.5.3 Máquina Colectora

La colectora (Figura 27). funciona con el propósito de reunir el material del suelo y poder enviarlo hacia tubos conductores que llevan a la superficie, dado que tras los procesos de corte de las máquinas anteriores los nódulos quedan esparcidos en el suelo, esta máquina cumple una función similar a una cosechadora en el ámbito de la agricultura y la abertura inferior del equipo aspira las rocas trasladándolas a una salida superior que es conectada al equipo de bombeo mediante mangueras. Esta máquina es el equipo principal del Sistema Rov's, por lo cual, no se podría hacer uso de este tipo de extracción sin ella.



Figura 27 Maquina Recolectora. Fuente: MIT Mechanical Engineering (Sitio internet)

4.5.4 Draga

La draga es el equipo utilizado con cubetas cuyo sistema lleva la simplicidad de ser una cadena de cubetas desde un barco en la superficie hacia el fondo marino, es utilizado en zonas poco profundas debido a la extensión que requiere para recoger el material del lecho para luego depositarlo en contenedores en el barco; este equipo esta implementado en el sistema de dragado. La draga “Magni R” (Figura 28). tiene una eslora de 75m y 13m de manga, con un calado de 3,8m. La capacidad de carga son 1570m³ con una profundidad operativa de dragado que varía desde los 28 hasta los 38m. Dado esto solo se recomienda para extracciones de poca profundidad.

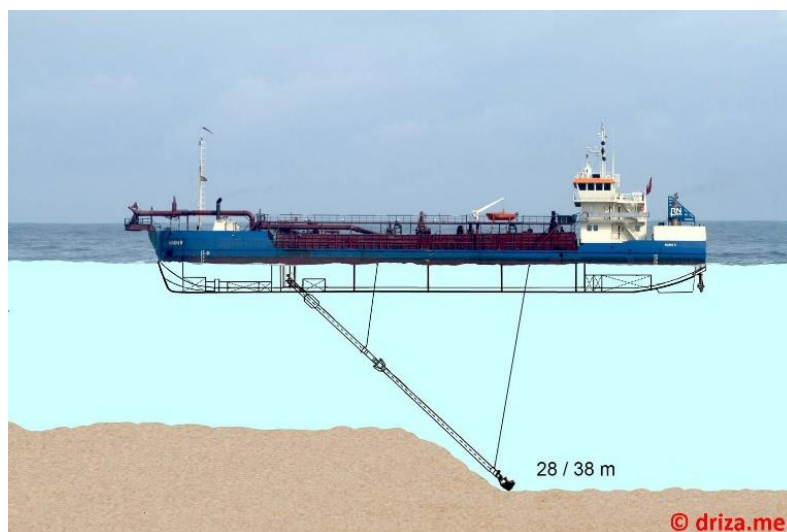


Figura 28 Esquema Magni R Fuente: Sitio driza.me

4.5.5 Equipo de Bombeo

El SSLP que se adquiere es una bomba de elevación de desplazamiento positivo (Figura 29) de 10 cámaras. La tecnología de la bomba se desarrolló originalmente para impulsar fluidos de perforación y recortes de perforación en gradiente inductivo de yacimientos de petróleo y gas en alta mar en aguas profundas. Al permitir que la presión de descarga de la bomba se ajuste a los cambios en la lechada (viscosidad, densidad y concentración de sólidos), la bomba de desplazamiento positivo se adapta a las variaciones en las condiciones de flujo para permanecer dentro de su capacidad operativa. El SSLP tiene una serie de sinergias técnicas y operativas directas que lo hacen ideal para su aplicación en la industria de producción de SMS [17].



Figura 29 Sistemas de Bombeo Submarino. Fuente: [1].

4.5.6 Barco de Soporte, Producción y Procesamiento

Este equipo se refiere al barco en que ocurre gran parte del movimiento del personal (Figura 30) el cual es el soporte de la faena dado que es su medio de traslado, almacenaje y demás. Si consideramos el equipo construido para el proyecto Solwara I. Sus dimensiones son: 227 m (750 pies) de largo y 40 m (130 pies) de ancho con capacidad hasta 180 personas y generará aproximadamente 31MW de potencia. Todo el equipo de minería se instala en el buque durante el proceso de construcción para minimizar la integración del equipo que se completará después de la entrega del buque. El soporte entregado por el barco es indispensable tanto en las tareas requeridas por las máquinas, como las realizadas por el personal, ya sean de coordinación u

orden. Durante el proceso de extracción cumple la función que en la cubierta del recipiente de soporte de producción (PSV), la suspensión se deshidrata. El material sólido deshidratado se almacena temporalmente en el casco de la PSV, y luego se descarga a un barco de transporte amarrado. El agua de mar filtrada se bombea de regreso al lecho marino a través de las tuberías elevadoras y proporciona energía hidráulica para operar la bomba RALS. La descarga del agua de retorno en el lecho marino desde donde proviene elimina la mezcla de la columna de agua y minimiza el impacto ambiental.



Figura 30 Instalación de Apoyo Nautilus Mineral Fuente: DSMF [29].

Capítulo 5: Problemas Medio Ambientales

La creciente búsqueda por recursos minerales se ha extendido no solo sobre la tierra sino también a los lechos marinos, esto ha traído consigo también el impacto sobre fauna y flora submarina; los estudios sobre el nivel de impacto han sido llevados a cabo de tal manera que se puedan confirmar o descartar eventos dañinos para los parajes del fondo oceánico; de esta forma también se debe poner en tela de juicio las comparaciones del impacto submarino y el terrestre, manteniendo la vista en que este trabajo relaciona una comparación sin sesgo de los tipos de minería. Durante la última década la minería submarina ha pasado de ser un concepto a ser una realidad y si bien no se ha masificado a nivel mundial existen aplicaciones a variadas escalas, por lo cual también sus efectos sobre el océano se han visibilizado.

A medida que la búsqueda de recursos minerales de aguas profundas está ganando impulso, el medio ambiente y la minería oceánica se han convertido en aspectos importantes de estudio. Debido a que muchos de estos depósitos se encuentran en aguas internacionales, la preocupación por la conservación ambiental en aguas profundas está logrando que estos efectos de la minería en aguas profundas estén haciendo que estos efectos sean estudiados en diferentes océanos, y los esfuerzos para desarrollar regulaciones que regulen esta explotación también están en marcha a nivel nacional y a nivel internacional. La evaluación del impacto de la minería en aguas profundas debe abarcar una variedad de temas, incluidos los aspectos ambientales y posibles peligros (Figura 31), socioeconómicos, tecnológicos y legales. Al mismo tiempo, los efectos de las condiciones ambientales in situ sobre las actividades mineras también deben ser considerados para un desempeño eficiente del sistema minero. Se han observado diferencias en el grado de impacto durante los experimentos de simulación minera por diferentes agencias de investigación. Por lo tanto, las comparaciones entre parámetros, la estandarización de métodos y la mejora en el diseño minero son consideraciones importantes para la utilización adecuada de los recursos, la conservación del medio ambiente y la rentabilidad de las operaciones mineras [18].

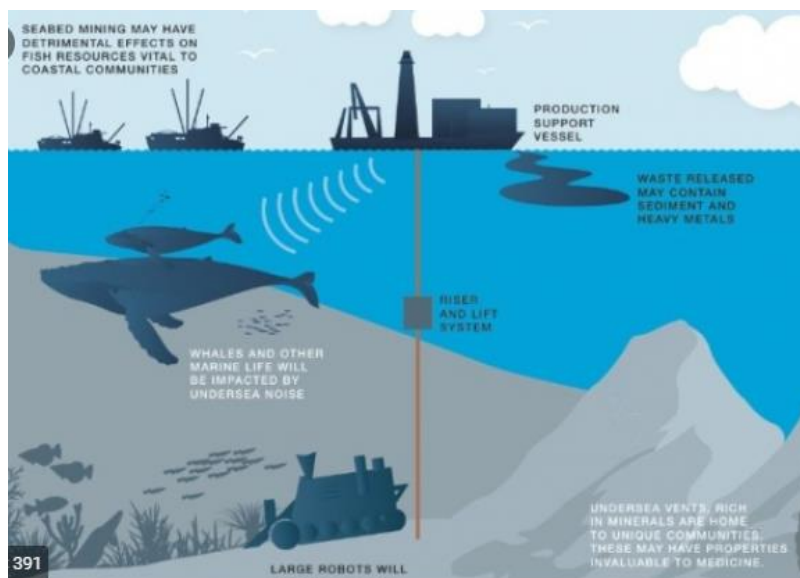


Figura 31 Principales Peligros Ambientales Fuente: Sitio BankTrack

Por otro lado, debido a las altas probabilidades de encontrar ricos yacimientos de mineral en el área, la minería submarina emerge como otra amenaza para la biodiversidad de los Mares. Los efectos de estas probables actividades son en extremo inciertos, dado que dependerán de las tecnologías que se utilicen en la extracción. Sin embargo, Koslow (2007). indica que "un proyecto minero de 20 años de operación, para uno o dos yacimientos, tendría impactos severos sobre un área de al menos 10.000-20.000 km², y probablemente varias veces mayor". Dichos impactos estarían relacionados con la remoción directa de fauna asociada al sedimento, y las perturbaciones producidas por la suspensión y sedimentación [19].

Si consideramos otra actividad que afecta el océano que se practica en Chile; son principalmente dos, las pesquerías de arrastre de fondo de crustáceos y merluzas. Según una investigación científica desarrollada por Oceana Chile, y que fundamentó las bases para establecer la propuesta para una eliminación progresiva de la pesca de arrastre de fondo, cada año 3905 km² de superficie marina son impactados por este arte de pesca; esto en un tiempo de 20 años son 78.100 km² afectados, por lo cual no es un daño desmedido el producido por la minería.

Uno de los principales problemas con respecto a la minería submarina tiene que ver con las formas de remediación de los impactos negativos que esta cause, las cuales aún se encuentran en etapa de investigación, por lo cual el grado de daño no se dimensionado en su totalidad. La esperanza que el daño sea recuperable mantiene los estudios, pero una faena activa requiere presentar sus programas de remediación, cómo lidiar con el cierre y el regreso a las líneas o cerca de las líneas base de la zona afectada.

Restaurar los fondos marinos perturbados a su estado anterior a la recolección en escalas de tiempo humanas presenta desafíos científicos y logísticos sustanciales [20].

Los expertos temen que la agitación de sedimentos pueda nublار el agua y sofocar a los animales, y también alertan de la contaminación tóxica debida a fugas y derrames, además del ruido, las vibraciones y la contaminación lumínica. La minería en el fondo del mar requerirá diferentes métodos de extracción y tecnologías, pero sea cual sea que se utilice, lo único que se puede esperar son daños severos al ecosistema. Los problemas ambientales pueden afectar la biota y lo abiótico; como son flora, fauna y ambiente natural estos pueden verse afectados por distintos problemas. (Figura 32) [21].

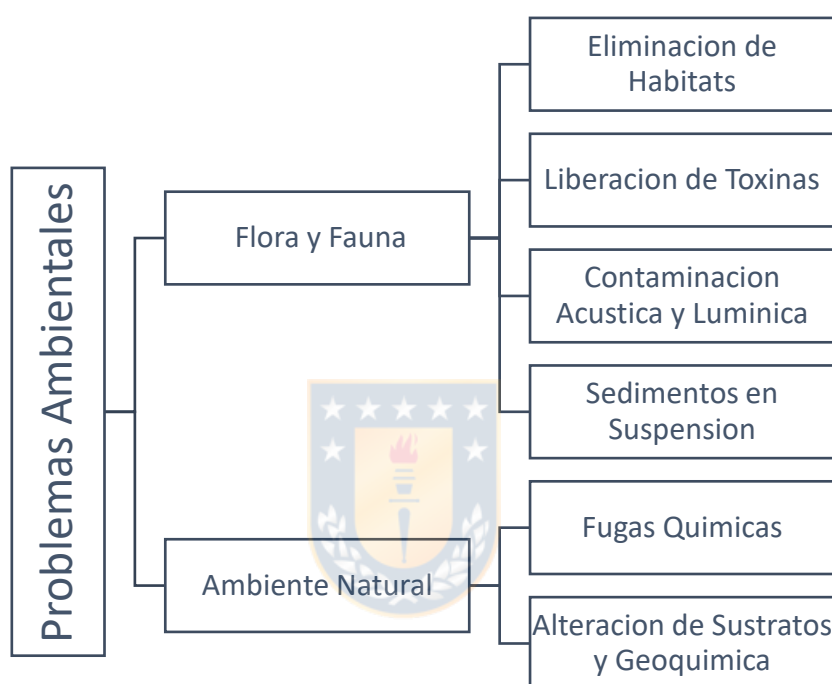


Figura 32 Resumen de Problemas Ambientales Fuente: Elaboración Propia

5.1 Eliminación directa de hábitats y organismos en el fondo marino

Este tipo de impacto nace de la interacción de la minería en la zona ya sea por realizar el cambio de paisaje en una zona mineral, tal cual ocurre en superficie o por el efecto directo sobre ambientes marinos, algunos efectos son los daños a las barreras de coral o a las zonas abisales, así también la variedad de vida que existe en el entorno de la fauna. Un claro ejemplo es la zona de Clarión-Clipperton la cual presenta abundantes depósitos de alto interés comercial y estratégico, tales como nódulos de manganeso, costras ricas en cobalto y cobre. Dado que los yacimientos abisales también pueden ser grandes reservorios de biodiversidad se realizan estudios sobre la fauna de la zona, la principal dificultad de estos estudios es la complejidad de rastreo a la fauna del lugar como la medición del nivel de amenaza, en particular la probabilidad

de extinción, de esta zona se considera que cercano al 50% de la fauna corresponde a gusanos poliquetos, gusanos nematodos y foraminíferos protozoarios, considerando un espacio geográfico particular [6].

Separar entre el 30% y el 50% del área en zonas de preservación y dejar el 15% de cobertura de nódulos en las zonas de recolección ayudará a la restauración del hábitat natural, pero es probable que el proceso lleve mucho tiempo y dependa de la conectividad del hábitat, aún en estudio. Esta ha de ser una consideración en casos de remediación posteriores al cierre de la faena de fondo marino.

5.2 Liberación de columnas de sedimento en suspensión

El movimiento de la máquina de recolección y la descarga de sedimentos generan columnas (es decir, sedimentos del lecho marino en suspensión). A medida que las plumas se reubican en el lecho marino, pueden sofocar, matar y perturbar la vida silvestre en el área impactada, dependiendo del espesor de la capa [20].

5.3 Alteración de Sustrato y en su Geoquímica

La recolección de nódulos elimina el sustrato duro del lecho marino. Algunos animales silvestres requieren estos sustratos para la fijación ("el nódulo obliga"), y algunos dependen de estos sustratos duros para funciones vitales críticas (por ejemplo, la puesta de huevos). Las poblaciones de estas especies se verán afectadas en las áreas de recolección, disminuyendo seriamente sus capacidades de reproducción, en desmedro de la supervivencia de la especie.

La explotación de todos los tipos de depósitos minerales de aguas profundas implica la eliminación de grandes cantidades de sustrato. El desarrollo de la tecnología aún se encuentra en la fase conceptual, aunque ya existen prototipos a gran escala para depósitos de SMS. Las áreas afectadas por las futuras operaciones de minería industrial de nódulos y costras serán amplias. Los nódulos de Fe-Mn se recolectarán en áreas que alcanzan los 100-600 km² por año para una sola operación minera, y se estimó un área de 260 km² para una mina de corteza de Fe-Mn con una duración de 20 años.

En general, los efectos directos del corte, raspado y rastrillado de depósitos de mineral y sus sedimentos circundantes son probablemente insignificantes para la fauna pelágica y bentopelágica. Sin embargo, los chorros de agua para aflojar el material y los dispositivos de succión de nódulos pueden absorber, junto con minerales, sedimentos y agua, fauna bentopelágica más pequeña y larvas planctónicas que no son capaces de evitar el flujo de agua

asociado. Las piscinas de salmuera suprayacentes en los depósitos de sedimentos metalíferos del Mar Rojo, que es más probable que se extraigan con dispositivos de succión, carecen de fauna. Sin embargo, la operación y el movimiento de los recolectores de nódulos en zonas más pobladas del océano, inducirán varios efectos indirectos y la destrucción y alteración a largo plazo de la fauna bentónica causada por la remoción permanente del sustrato la que interrumpirá los vínculos entre bentopelágicos y comunidades bentónicas [21].

5.4 Liberación de Toxinas y Contaminación por Extracción y Procesos de Remoción

Un fondo marino rocoso y su interior no es un fondo inerte, ya que las concentraciones de gases contenidas en las profundidades de la roca son altas, variadas y son halladas desde altas concentraciones de azufre a concentraciones de gas natural, la vida marina no siempre es compatible con la liberación de estos gases, y los peligros de este tipo nacen de la remoción de material y la apertura de zonas sin mayor estudio; además, el suelo marino cuenta con gases encapsulados, tal es el caso de los hielos flameantes en zonas donde el gas capaz de encender avanza a través del agua hacia la superficie, al momento de remover material se puede llevar a cabo la liberación de alguna toxina al ambiente, no solo del fondo submarino sino también de parte de los equipos, en este último caso similar a fugas químicas.

5.5 Contaminación Lumínica y Acústica.

La contaminación lumínica corresponde a la alteración de la oscuridad natural de la noche, provocada por luz desaprovechada, innecesaria o inadecuada, generada por el alumbrado de exteriores, la cual genera impactos en la salud y en la vida de los seres vivos.

Es un problema global, que afecta en especial a las ciudades, pero no de manera exclusiva.

La contaminación lumínica involucra siempre un desperdicio de luz:

- Ya sea porque no se ilumina el objetivo: suelo, construcción, etc. y por ello la luz se escapa o dispersa al horizonte o al cielo directamente.
- Porque se ocupa en momentos innecesarios o en la cantidad innecesaria.
- Porque se emite en un espectro no útil para la visión humana, pero que afecta a otros seres vivos o actividades como la observación astronómica [22].

Esta definición es dada para un ambiente terrestre, si se considera el aire como un fluido se puede llevar está a ser aplicada a un ambiente submarino, en el cual las principales Fuentes lumínicas en faenas mineras son los equipos tanto de producción como exploración, y el principal efecto es sobre la fauna y flora del lugar que dependiendo a que profundidad se encuentren es

que ellas no están acostumbradas o desarrolladas para coexistir con un ambiente iluminado, si bien el nivel de impacto no es tan grande como en tierra, las faenas mineras de fondo marino están pensadas para zonas profundas del océano, estas por lo general a partir de los 1000 metros de profundidad y debe ser considerado que los rayos del sol solo penetran alrededor de 200 metros y a partir de estos la luz comienza a desaparecer.

El medio marino no está libre del problema del ruido. En la actualidad existe amplia evidencia científica que demuestra los efectos producidos por el ruido submarino. Estos van desde la muerte, a efectos fisiológicos de tipo auditivos y no auditivos, cambios en el comportamiento e interferencia en la comunicación de las especies que se relacionan con ondas de sonidos, ya sea criaturas guiadas por sonar u otras. Los ejemplos más usuales de actividades emisoras corresponden al tránsito marítimo, tronaduras, actividades de construcción, infraestructura portuaria, exploración sísmica, entre otros.

Este tipo de contaminación puede ser analizado desde 2 puntos de vista, dado que el ambiente que rodea la faena es agua a diferencia del aire de superficie, este es un conductor de sonido más alto que el aire, por lo cual, este se transmite a mayor distancia, este tipo de contaminación provoca daños principalmente sobre la fauna marina, considerando también un estorbo en sus comunicaciones.

5.6 Fugas Químicas por parte de los Equipos Mineros

Uno de los efectos tal vez más notorios en este proceso extractivo es el ingreso de máquinas o vehículos remotos al medio marino, esto incurre en riesgos de roturas y liberación de combustibles, o aceites, dentro de esta área es muy importante que tipo de maquinaria sea implementado, un riesgo latente es que durante el uso de equipos que puedan contener petróleo o sus derivados se genere una fuga, ya sea por posibles colisiones con rocas entre ellos o incluso el combustible del barco.

El impacto que causan los derrames de petróleo de forma inmediata es que crean una película sobre la superficie marina que impide la entrada de la luz en el agua. Dentro del ecosistema marino hay diferentes especies, como es el caso de las algas, que necesitan la llegada de la luz para poder realizar la fotosíntesis y si esto no ocurre, muchas de ellas pueden morir.

Después, tiene lugar una contaminación aguda, que puede llevar incluso a la muerte de muchos organismos, porque los contaminantes de los compuestos del crudo son tremendamente tóxicos. A más largo plazo, el derrame provoca años en el sistema reproductivo y de alimentación de todos los organismos del ecosistema marino.

Capítulo 6: Minería Submarina Vs. Minería Terrestre

6.1 Exploración del Material

La exploración terrestre presenta dificultades debido a una prospección de alto riesgo, sin grandes descubrimientos de activos mineros de nivel I realizados durante la última década. En el caso de los depósitos submarinos, por comparar con yacimientos enterrados donde solo se pueden estimar sus dimensiones y formas, llegando a tener solo al final de la extracción la seguridad de su tamaño, puede ser considerado que en general la exposición de los yacimientos minerales a la fecha permite un mejor mapeo de la zona sumergida debido a que no se encuentran en profundidad terrestre sino en un medio que permite la visualización, haciendo referencia del agua del mar. El material del yacimiento marino puede ser observable incluso con cámaras o submarinos de investigación.

6.2 Extracción del Material

La extracción de material submarino presenta muchas ventajas desde el punto de vista de uso de recursos, conlleva una mínima generación de desechos, todo el material que no es económicamente rentable es regresado al mar durante la extracción, sistema que no es posible en minería terrestre ya que los desechos deben ser trasladados a otro lugar; el no uso de explosivos que permite la faena es un punto positivo, también teniendo en consideración el daño que se puede generar al ecosistema, el uso de maquinaria y robótica frente a la exploración y la extracción crea un ambiente seguro para los trabajadores y las altas concentraciones de ley lo convierte en una faena atractiva.

La minería Submarina posee ciertas dificultades debido al ambiente en el cual se desarrolla, el uso de equipos afines con las presiones submarinas fue un impedimento por muchos años. La prospección implica la observación del fondo marino utilizando sensores montados en los cascos de los barcos y/o vehículos submarinos autónomos, y la recolección de muestras biológicas y de nódulos.

Debido a que es un tipo de minería en desarrollo la fabricación de cada sistema de producción en alta mar puede tardar hasta dos años. Esto no incluye las fases iniciales de diseño del sistema y el desarrollo de sistemas de minería piloto, que pueden llevar tres o cuatro años. El diseño del sistema a gran escala puede llevar un año adicional, aun cuando los sistemas posteriores se diseñarían de forma iterativa en plazos más ajustados a medida que se produzcan el aprendizaje y la mejora, como con cualquier desarrollo de sistemas a gran escala.

En la etapa de construcción de la faena las minas a cielo abierto requieren la tala de bosques u otra vegetación y la eliminación de la capa superficial del suelo para acceder al cuerpo mineral. Para construir un acceso en terrazas al cuerpo mineralizado, se necesita excavar un área mucho más grande, con proporciones de desmonte de 1 a 10 toneladas de roca estéril por cada tonelada de cuerpo mineral no infrecuente. Si el sitio está poblado, las comunidades se reubican.

Dentro del desarrollo de las faenas mineras son utilizados dispositivos y equipos de combustión interna, por lo cual la producción de CO₂ es una práctica común, este es un punto de preocupación, debido a los crecientes niveles de polución que invaden ciudades y zonas naturales, por lo cual, el objetivo colectivo es la disminución de Fuentes de CO₂, las emisiones por parte de las faenas terrestres son un 70% aprox. Mayores que las de una faena submarina, esto debido a los distintos dispositivos utilizados en ambas faenas. Las gigatoneladas de carbono almacenado también son indicadores importantes.

6.3 Impacto Socioeconómico

Una ventaja notoria de los métodos de minería submarina es que no hacen necesario mover comunidades, ni terrestres ni pesqueras, esto debido a que la faena no atenta contra los asentamientos cercanos al ubicarse en zonas de alta mar; tampoco inversión en cuanto a reformar las zonas cercanas a la faena, construcción de carreteras, construcción de asentamiento para trabajadores, plantas eléctricas, pistas de aterrizaje

Durante su etapa de procesamiento la minería de aguas profundas presenta principalmente beneficios debido a que Las plantas de procesamiento se pueden ubicar en cualquier parte del mundo con acceso a un puerto de aguas profundas.

Una de las principales ventajas de la minería terrestre es la cantidad de creación de empleos que genera, de esta forma su impacto social y económico denota un atractivo mayor para las ciudades que la minería submarina, considerando una diferencia del 75%, la creación de empleos mineros, el 2016 la minería terrestre generó 388.754 empleos en Chile, lo que equivale al 5,4% de la fuerza laboral del país, esto se traduce en un aumento de ingreso monetario en las ciudades cercanas así como la llegada de trabajadores o población en busca de un mejor estilo de vida, los cuales atraídos por la faena se sitúan en las zonas aledañas a la mina de tal manera que el flujo monetario del lugar se incrementa,

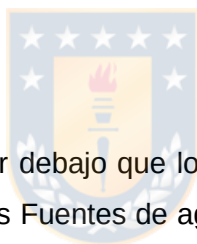
En este sentido para la minería submarina le es muy difícil competir, dado que principalmente el lugar de los trabajadores es el barco que se encarga de transportar tanto los equipos como el material; de esta forma solo la ciudad puerto más próxima a la faena se vería directamente beneficiada.

Los costos de producción de una faena submarina son menores, aunque no en una relación mayor al 50%, con esto los costos de ambas faenas dependerán del tamaño. En cuanto a la generación de empleos que genera una influencia directa en el estilo de vida de las comunidades y la economía de las personas, es la minería terrestre la que presenta más trabajos, probablemente por todo lo asociado, de por sí estas faenas, no solo dependen de una producción, sino también muchos servicios asociados.

La minería representa alrededor del 11% del PBI, aporta más del 50% de las divisas, contribuye con el 20% de la recaudación tributaria y comprende la mayor parte de la inversión extranjera. Por lo cual una faena que genere muchos empleos es alentadora para el país, en cantidad de empleos es la faena terrestre la más conveniente.

Las Fuentes de emisiones de ruido asociadas con la minería pueden incluir motores de vehículos, carga y descarga de rocas, voladuras, generación de energía, entre otras Fuentes relacionadas con la construcción y actividades de la mina. Los impactos acumulativos de la excavación, perforación, voladuras, transporte, molienda y almacenamiento pueden afectar mucho a la vida silvestre y a las poblaciones aledañas.

6.4 Impacto Ambiental



los niveles de toxicidad están muy por debajo que los de la minería terrestre, debido a que la minería submarina no interfiere con las Fuentes de agua natural, ya sea de origen superficial o subterráneo, por lo cual no compite por las reservas naturales de agua como si lo hace la minería terrestre, ni corre el riesgo de contaminarlas, está libre de este riesgo hídrico.

El montaje de las faenas de minería submarinas se realiza principalmente sobre el barco que lo traslada o sobre superficies flotantes y el paisaje no es alterado de forma brusca, zonas de almacenamiento de desechos, debido que los desechos son gestionados a bordo y existen controles de relaves, esto pues el material no mineral es regresado al lecho marino.

La selección del sitio se puede optimizar para acceder a energías renovables como la energía hidroeléctrica, mareomotriz, eólica o solar.

Los nódulos no contienen niveles tóxicos de elementos pesados y pueden procesarse sin relaves, residuos o desechos sólidos. La huella física consiste en el terreno ocupado por una planta de procesamiento, así como la construcción y el mantenimiento de carreteras. Los impactos resultan del procesamiento pirometalúrgico o hidrometalúrgico. El procesamiento se puede optimizar para reducir los residuos y las emisiones debido a la mineralogía única de los nódulos y la flexibilidad de ubicación de la planta.

El procesamiento de los minerales de faenas terrestres obtenidos por este método está en desventaja debido a la presencia de contaminantes, los impactos resultan del procesamiento pirometalúrgico y / o hidrometalúrgico y dependen del mineral. La contaminación y los desechos significativos se generan a partir de técnicas estándar, como proceso de hornos o lixiviación.

La minería submarina afecta principalmente los ambientes marinos por lo cual su efecto sobre los ambientes en que se desarrolla la vida humana y la vida terrestre en general es casi nulo, en comparación, el efecto que produce la minería terrestre sobre la vida humana y las vidas animales, en estas condiciones la minería tradicional es aproximadamente 10 veces más nociva y la toxicidad en humanos alcanza las 37.000 millones de toneladas mientras que la submarina no supera los 300 millones; aunque ambos presentan riesgo de pérdida de biodiversidad, la faena en tierra afecta más la megafauna y el número de vidas humanas, por lo cual la minería submarina, más segura para los seres humanos, esto probablemente por la distancia que tiene el operador y todo el personal de la zona de trabajo.

Las extensiones de terreno que las mineras abarcan no solo corresponden a faenas; las áreas cubiertas por los desechos de las mineras son extremadamente altos, la contención de relaves es particularmente en Chile un problema de difícil manejo, la percolación del material de desecho acumula ecotoxicidad en los suelos y las aguas subterráneas, por lo cual es a partir de la generación de basuras y desechos que desencadena el resto de problemas asociados al daño en hábitats terrestres; por otra parte, las faenas marinas no producen basura que quede en el mar, no tiene mayores problemas contra los terrenos, más que la remoción de suelo marino por necesidad de la explotación.

Los efectos más directos en la vida silvestre son la destrucción o desplazamiento de especies en áreas excavadas y en los depósitos de desechos mineros. Las especies silvestres terrestres móviles tales como los animales de caza, aves y predadores deben dejar estas áreas. Muchos animales con menor capacidad de movilizarse tales como invertebrados, reptiles y vertebrados pequeños son los más severamente afectados. Debido a la destrucción de sus antiguas hábitats.

La tendencia mundial es a comprometer metas en temas de agua, consumo energético y emisiones de GEI, más allá de lo establecido en los procesos regulados de evaluación ambiental, considerando el riesgo asociado a la evaluación y gestión de riesgo del cambio climático, e incluyendo análisis de escenarios futuros de disponibilidad hídrica, precipitaciones y eficiencia energética, entre otros. Tomando esto en consideración se busca que las faenas tengan el menor índice de emisión de gases nocivos.

6.6 Contenido Mineral

El consumo de metales se ha incrementado considerablemente y se estima que permanezca así en el futuro, arriesgando el agotamiento de yacimientos terrestres, las esperanzas han sido puestas en el reciclaje del material mineral y alternativas más extremas consideran a la minería espacial como forma de cubrir la futura demanda; la tabla expuesta a continuación es una comparativa cuantitativa en la cantidad de mineral registrado en la zona Clarión-Clipperton versus yacimientos terrestres (Tabla 3)

Tabla 3 Comparativa en Cantidad de Mineral Estimado. Fuente:

Mineral	Nódulos de la Zona Clarión-Clipperton	Reserva Base Global Terrestre
Manganeso	5992	5200
Cobre	226	1000+
Titanio	67	899
Total Rare Earth Oxide	15	150
Níquel	274	150
Vanadio	9.4	38
Molibdeno	12	19
Litio	2.8	14
Cobalto	44	13
Tungsteno	1.3	6.3
Niobio	0.46	3
Arsénico	1.4	1.6
Torio	0.32	1.2
Bismuto	0.18	0.7
Itrio	2	0.5
Platinum-group Minerals	0.003	0.08
Telurio	0.08	0.05
Talio	4.2	0.0007

Para la electromovilidad y el uso de nuevas tecnologías, se requiere el consumo masivo de muchos minerales, los cuales se han vuelto fundamental para la sociedad moderna. Existen distintos estudios con respecto a los minerales críticos o estratégicos, dentro de los cuales destacan Antimonio, Cobalto, Tierras Raras, Berilio, Grupo de los platinos, Manganeso y otros. Varios de esta lista pueden ser encontrados en nódulos submarinos, y en consideración de la tabla 3, Grupos Platinos Tungsteno, Niobio, con Cobalto y Manganeso con valores mayores a los presentes en tierra.

La minería es una industria elemental de la civilización humana y la madre de todas las industrias. Sin minería no existirían la industria electrónica, la automotriz, la textil, y la química.

La actividad minera se encuentra intrínsecamente presente en las telecomunicaciones, el transporte, la construcción, la electrónica e informática, la medicina, la generación de energía, etc.

El modo de vida moderno no podría existir sin minería. El ejemplo paradigmático de lo esencial de la participación de la minería en la vida diaria es el teléfono celular. GSMA estima una penetración mundial del celular en 2015 de 63% (suscriptores únicos), y para el 2020 del 72%. Es casi impensable hoy prescindir de un celular, y siendo 100% producto de la minería y tecnología, es inconcebible prescindir de estas últimas. Más de 200 minerales, 80 elementos químicos, y más de 300 aleaciones y variedades de plástico se integran en un simple teléfono celular [23].

A continuación, para mayor comprensión se resumen (Tabla 4) los principales puntos del capítulo 6.

Tabla 4 Comparación entre Minería Submarina y Terrestre. Fuente: Elaboración Propia.

	Minería Submarina	Minería Terrestre
Exploración	- En su mayoría directa, material sobre el lecho marino.	- Prospección de alto riesgo
Explotación	- Recolección remota, poco riesgo humano	- Extracciones con personal presente, riesgo creciente.
Impacto Socioeconómica	- Vacante de empleos a nivel medio. - Desarrollo portuario focalizado.	- Aumento de empleos. - infraestructuras para la zona. - Mejora de zonas aledañas
Impacto Ambiental	- No genera mayor cantidad de desechos, ni contaminantes.	- Extracción y procesamiento asociado a una alta generación de desechos y contaminantes.
Contenido Mineral	- Yacimientos de leyes medias y prospecciones de leyes altas (7% - 30%).	- Yacimientos de Baja Ley (del orden del 0.1%). - Cantidades masivas de mineral.

	- Las cantidades de Manganeso, Telurio, Talio, Cobalto, Itrio y níquel. son más altas en suelo marino	- Gran cantidad de yacimientos explorados.
--	---	--

6.7 Minería Submarina Vs. Pesca de Arrastre

La pesca de arrastre es el arte de pesca menos selectivo que existe, además de ser el más perjudicial para los fondos marinos. Consiste en una red en forma de cono o calcetín que se remolca desde una embarcación manteniéndola abierta (Figura 33). De esta forma, todo lo que encuentra a su paso queda atrapado en el interior de la red. Para mantener la red abierta durante la pesca, el arte cuenta con unas piezas, denominadas puertas, que cuando están en el agua se mantienen separadas, lo que impide que se cierre la red. Además, la parte superior de la boca de la red lleva flotadores, y la inferior lleva una serie de lastres. Es un método de pesca activo en el sentido de que no espera ni confía en los movimientos del pez para su captura, sino que es el arte el que va en busca del pez. El más extendido es el arrastre de fondo, en el que el arte opera próximo al substrato, es poco selectivo y captura los peces que viven sobre el fondo o cerca del mismo. Destaca porque esta operación es muy destructiva para los fondos marinos [24].

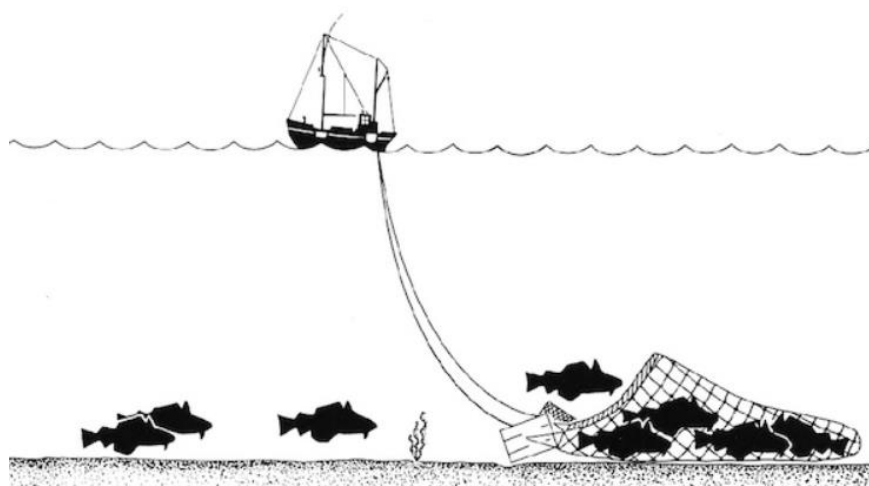


Figura 33 Pesca de Arrastre Fuente: Mongabay Latam

Esta práctica, aunque polémica y potencialmente dañina a la fauna y flora del ambiente marino, si es aplicada, y es altamente realizada a nivel industrial, es utilizada en al menos un 0.4% del lecho marino frente al sur de Chile, mientras que más del 80% del lecho marino en el mar

Adriático -una parte del mar Mediterráneo- está arrasado. Además, las huellas de arrastre cubrieron menos del 10% del área del fondo marino en aguas de Australia y Nueva Zelanda, y en las Islas Aleutianas del Pacífico norte, el mar de Bering y el golfo de Alaska, pero superaron el 50% en algunos mares europeos [24].

La pesca de arrastre de profundidad es el ejemplo perfecto de una práctica pesquera insostenible, destructiva y resultante de la mala gestión pesquera de la UE. Los caladeros tradicionales, más cercanos a la costa, se han sobreexplotado y ahora los buques pesqueros deben pescar en aguas más lejanas y profundas. La pesca de arrastre de profundidad provoca la destrucción irremediable de los fondos marinos y una parte importante de los científicos del mundo piden que se ponga fin a ella. Además, también cuestionan si estas pesquerías son sostenibles y económicamente viables. Greenpeace considera esta práctica pesquera como una de las más dañinas para el medio marino y trabaja para que se imponga una moratoria internacional sobre ella [25].

Gracias a los avances tecnológicos, la minería submarina es más segura de implementar que la pesca de arrastre, muchas veces se puede controlar la maquinaria de manera que cause el menor impacto posible, mientras que la pesca de arrastre no tiene control de los movimientos de la red bajo el agua. Considerando el cálculo del daño 78.000 km² de la pesca de arrastre visto en capítulos anteriores y entre 10.000 a 20.000 km² de la minería; la minería submarina es una actividad económica más amigable al ambiente.

Capítulo 7: Primera Mina Submarina “Solwara I”

La primera mina submarina en el mundo es el proyecto Solwara I (Figura 34), llevado a cabo por la empresa Nautilus. Esta mina trae a la realidad el funcionamiento de un proyecto de extracción de nódulos utilizando Rov's, de forma que los equipos son manejados de manera remota, Solwara nace debido a que, en 2007, un sumergible con un gran taladro descendió 1600 metros en el mar frente a las costas de Papua Nueva Guinea, aterrizando cerca de una red de respiraderos hidrotermales que albergan una gran cantidad de vida marina. Los operadores de máquinas, que trabajan para la compañía minera canadiense Nautilus Minerals Inc. que tras su desaparición paso a llamarse Deep Sea Mining Finance Limited. Así dieron comienzo la perforación del fondo marino, buscando cobre, oro, zinc y plata.

Solwara I fue el primer proyecto de mina de oro y cobre de fondo marino de alta ley comercial del mundo. El sitio de la mina está aproximadamente a 30 km (18 millas) (Figura 35) de la costa en el Mar de Bismarck en alrededor de 1,600 m (5,000 pies). de agua. El sitio ha indicado recursos de un millón de toneladas con una ley de 7.2 por ciento de cobre, cinco gramos (0.18 onzas). de oro por tonelada, 23 gramos (0.81 onzas). de plata y 0.4 por ciento de zinc. Los recursos inferidos agregan 1.5 millones de toneladas de 8.1 por ciento de cobre, 6.4 gramos de oro, 34 gramos de plata y 0.9 por ciento de zinc.

Nautilus Minerals dio firma a un contrato con Tree C Technology para un simulador y un sistema de monitoreo del sitio minero para el proyecto y se esperaba que la minería diera comienzo en 2018. Nautilus también poseía licencias para otros sitios que están pendientes de aprobación.

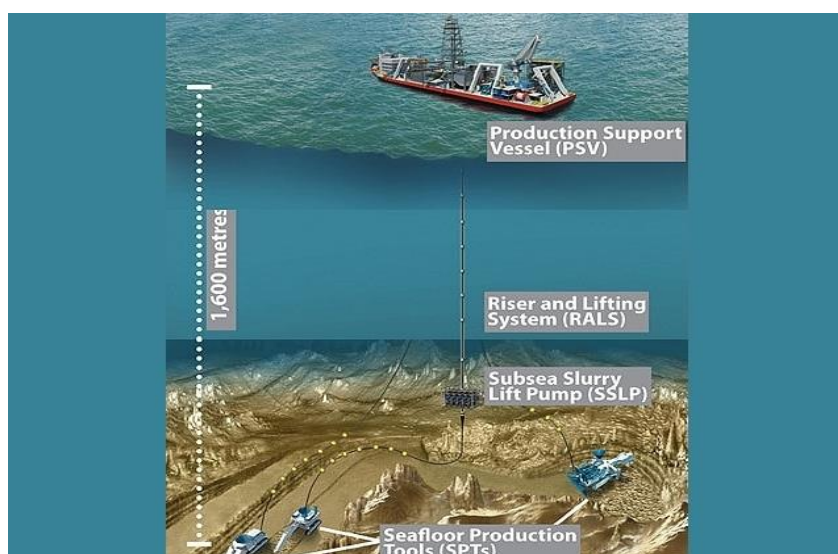


Figura 34 Esquema Método de Extracción Utilizado en Solwara I Fuente: PortalMinero [26].



Figura 35 Ubicación de Proyecto Solwara I Fuente: DSMF [29].

7.1 Factores Económicos de la Faena

Distinguida como la primera mina submarina, Solwara inicia sus operaciones en el año 2013 bajo vehículos de operación remota a 1600 metros bajo el nivel del mar. Está controlada por Nautilus Minerals y presenta como inversionistas mayoritarios a Gazmetall (21%), Anglo American (11.1%) y Teck (6.8%). Además, con un costo de capital de 383 [MUS\$] y un costo de operación de 70 [US\$/ton] se promete extraer 1.2 millones de toneladas al año de mineral a 6.2% ley de cobre, 5.26 ppm ley de oro, 25.6 ppm ley de plata, 0.47% ley de zinc y 0.08% ley de plomo. Montos que son fuertemente comparables a diversas faenas terrestres, tanto en ritmo de producción diaria (equivalentes aproximadamente a 3330 toneladas de mineral por día). como en costo de operación para cierto sector de arquitecturas y sistemas mineros complejos como lo es hoy en día el “drift and fill” [26].

La inversión de Nautilus Minerals al momento de la puesta en operaciones de Solwara I habrá totalizado una cifra del orden de los US\$500 millones, considerando la adquisición de equipos innovadores (Figura 36) y recursos necesarios. Este monto es similar a los invertidos por la minera Centinela para refinanciar su proyecto 2020, en el norte del país, o a la inversión de CMPC en el 2017, Las inversiones de este nivel están al alcance de la economía chilena, tanto por entes privados como estatales.



Figura 36 Animación Proyecto Solwara I Fuente: Catalyst.com

7.2 Posibilidad

El proyecto Solwara I fue implementado en el año 2013 siendo la primera mina submarina en funcionar de manera comercial, junto a Tongling Nonferrous Metals Group de China como el primer cliente de su pionera mina de fondo marino en Papúa Nueva Guinea. Nautilus, que cotizó en las bolsas de valores de Canadá y Londres, con oficinas en Australia, mencionó que Tongling había acordado comprar 1,1 millones de toneladas de sulfuros por año de su mina submarina Solwara I durante tres años.

La campaña de perforación del yacimiento Solwara 1 entregó resultados muy auspiciosos, que indican una ley de 7,2% de cobre, 6,4 gt de oro, 34 gt de plata y 0,9% de zinc. Fue este conocimiento geológico el que le permitió a la empresa elaborar su plan de desarrollo comercial. El proyecto Solwara 1 tiene una vida útil proyectada de tres años, en los que espera producir entre 70.000 y 80.000 toneladas de cobre por año y unas 120.000 onzas de oro, dependiendo de que se cumplan las estimaciones hechas por los geólogos y que las condiciones de operación se ajusten a los parámetros de diseño. La inversión de Nautilus Minerals al momento de la puesta en operaciones de Solwara 1 habrá totalizado una cifra del orden de los US\$500 millones [27].

El uso de tecnologías submarinas en el pasado era costoso y mediante los nuevos avances tecnológicos la implementación ya no es tan cara; de esta forma la empresa Nautilus ha desarrollado tecnología utilizada para la extracción de petróleo, gas en altamar y para el dragado de los suelos oceánicos para la nueva minería, Nautilus planea realizar un sistema para extraer un alto grado de sulfuros polimetálicos a escala comercial. Para ello, ha estado trabajando en los últimos años en la construcción de un Sistema para la Extracción de Minerales del Fondo Marino. El año 2013 la administración y Directorio de Nautilus decidieron detener la construcción del Sistema para la Extracción de Minerales del Fondo Marino, en atención a los problemas

existentes con el Estado de Papúa Nueva Guinea, relacionados con los aportes que éste último habría de realizar para financiar el proyecto Solwara I. Luego de tres años de arduas negociaciones, se llegó a un acuerdo comercial con el gobierno, relacionado con los montos de aportes que éste consignó para el desarrollo del proyecto. Con ello, fue despejado el camino para avanzar en el desarrollo de Solwara I [28].

En la actualidad el primer proyecto Solwara I en PNG tiene depósitos de SMS ricos en cobre y oro con recursos minerales inferidos e indicados calificados aproximadamente. 7% de cobre y aprox. 6 g de oro por tonelada.

El proyecto está actualmente en progreso para integrar las herramientas de producción del fondo marino ("SPT"). en un buque de apoyo a la producción ("PSV"). está completado en un 80%. Los SPT deben bajarse al fondo del mar a una profundidad de aprox. 1.500 a 1.600 metros bajo el nivel del mar. La roca es cortada por SPT y luego el mineral es elevado por el Sistema de Elevación y Elevación ("RALS"). al PSV. Una vez en el PSV, el purín se deshidrata, se coloca en la bodega y luego se transfiere a un granelero para ser transportado a una planta de procesamiento en tierra, en China. Se completó la fabricación de equipo submarino primario (tanto SPT como RALS). Finalmente, Solwara I está totalmente autorizado con licencias mineras y ambientales. Existe un acuerdo de extracción para el procesamiento del mineral [29].



7.3 Comparación entre Solwara I y Faenas Terrestres

La tabla 5 fue obtenida del informe ejecutivo presentado por Nautilus en búsqueda de más inversionistas, que puede ser hallado en el sitio oficial de la empresa. El impacto fue estudiado en los servicios asociados a la minería, los servicios de provisiones que son necesarios para el funcionamiento de las faenas debido al uso de personal, debido a que el personal que corresponde a la minería submarina es menor al de una faena terrestre. Este sector de Solwara I presenta índices muy bajos de impacto en comparación con las otras faenas del estudio, con la excepción de la energía y la materia prima; esto debido a que la minería de fondo marino requiere equipos que funcionen a distancia, su principal gasto es en equipos, el uso de agua se ve reducido en comparación con faenas terrestres similares lo cual es un buen índice con el propósito del estudio.

Tabla 5 Comparación del Impacto de Solwara 1 vs faenas terrestres. Fuente: [29].

Ecosistema de Servicio	Nivel de Impacto (Bajo, Medio o Alto)			
	Solwara 1	Prominent Hill	Binghan Canyon	Intag
Servicios de Provisiones				
Alimentacion	Bajo	Medio	Alto	Alto
Recursos Medicos	Bajo	Medio	Medio	Alto
Recursos Ornamentales	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Energia y Materias Primas	Alto	Alto	Alto	Alto
Agua	Bajo	Medio	Alto	Alto
Servicios Regulatorios				
Control Biologico	Medio	Alto	Medio	Medio
Estabilidad Climatica	Medio	Medio	Medio	Alto
Calidad del Aire	Medio	Bajo	Medio	Medio
Moderacion de Eventos Extremos	Bajo	Medio	Alto	Alto
Polinizacion	Bajo	Medio	Medio	Alto
Formacion de Suelo	Bajo	Alto	Alto	Alto
Retencion de Suelo	Bajo	Alto	Alto	Alto
Tratamiento de Desechos	Medio	Medio	Alto	Alto
Regulacion de Agua	Bajo	Medio	Alto	Alto
Servicios de Soporte				
Habitat y enfermeria	Medio	Medio	Alto	Alto
Ciclo de Nutricion	Medio	Medio	Alto	Medio
Recursos Geneticos	Medio	Alto	Alto	Alto
Servicios Culturales				
Belleza Natural	Medio	Medio	Alto	Medio
Informacion Cultural y Artistica	Bajo	Medio	Medio	Alto
Recreacion y Turismo	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Ciencia y Educacion	Medio	Alto	Medio	Medio
Historia y Espiritualidad	Bajo	Alto	Medio	Alto

Capítulo 8: Impacto económico y social.

8.1 Impacto en países productores de mineral

Con un consumo mundial de cobre creciendo a un 2% por año y la implementación de todos los proyectos terrestres, el mercado estará saturado de cobre hasta 2035, lo que tendrá un impacto negativo en el movimiento de precios. En tales condiciones, algunos de los proyectos mineros terrestres se retrasarán o serán abandonados temporalmente. Con un incremento de consumo mundial de 2.8% por año, la amenaza de escasez de metales puede surgir incluso si se encargan todos los proyectos, pero después de 2032. Con un incremento de consumo mundial de 3.5% por año, la escasez de metales puede ocurrir después de 2030, y si la puesta en marcha de algunos de los proyectos se retrasa por algún motivo, la escasez de metales podría ocurrir antes. Si las tasas de crecimiento anual promedio del consumo real exceden del 2 al 2.5%, a partir de mediados de la década de 2020, podrán aparecer nuevos proyectos de producción terrestre [3].

Chile representa un 23% al nivel de exportaciones versus un 6% de importaciones, definido como exportador, el país produce 5.6 millones de toneladas métricas al año esto según estadísticas del año 2019, seguido por Perú con 2.4 millones, siendo el principal país exportador de cobre, en consideración que el mercado se encontraría cubierto hasta el 2035, es conveniente prepararse para futuros escenarios de desarrollo.

América Latina y el Caribe: estructura del comercio de minerales y metales por países, promedio 2015-2017
(En porcentajes)

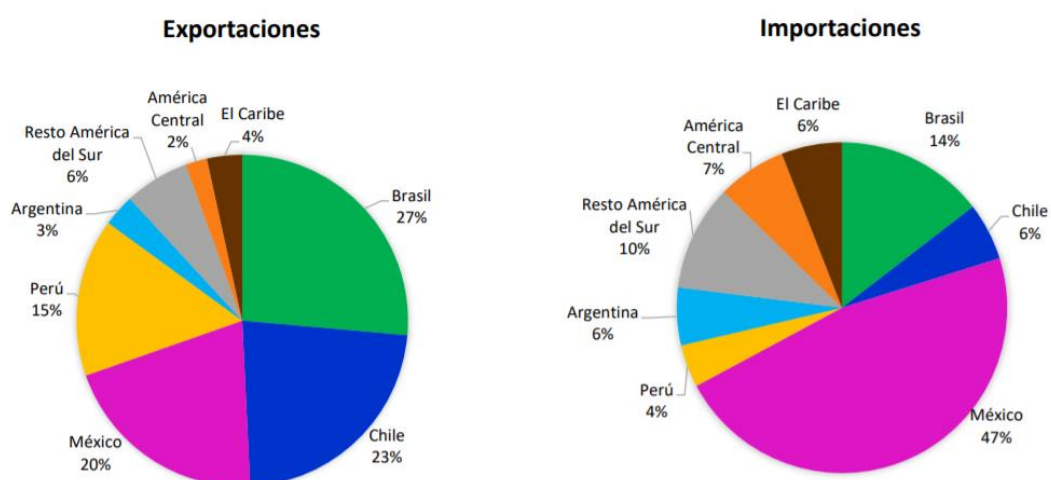


Figura 37 Representación de Chile en el Mundo Fuente: [30].

8.2 Impacto en Chile

Debido a la minería Chile mantuvo un sólido crecimiento del PIB en cuatro años, cercano al 5,6 % como promedio anual entre los años 2010 y 2013, y con las menores tasas de inflación de la región. Junto con lo anterior, fueron creados en este periodo más de 830 mil nuevos empleos de calidad, con una tasa que colocó al país en niveles cercanos al “pleno empleo” y doblando el ritmo de crecimiento de los salarios, siendo uno de los pocos en el mundo en esta situación laboral. Todo ello, sin olvidar que además el país debió sobreponerse a un devastador terremoto y posterior tsunami, que afectó a seis regiones y provocó daños por más de US\$ 20.000 millones. Pese a las dificultades que han atravesado las principales economías mundiales, la economía chilena está robusta y la industria minera ha dado muestras de solidez (Figura 35), convirtiéndose en un significativo aporte para el país, con un 13% en el PIB y 14% de los ingresos fiscales en el año 2012. Además, representa más del 60% de las exportaciones. Asimismo, si bien abarca cerca del 3% del empleo directo, por cada plaza en la industria se generan otros tres puestos en otros sectores económicos, mientras que por cada peso invertido en ella se invierte otro peso en un sector distinto de la economía [30].

Los minerales que forman principalmente los yacimientos submarinos son los que en actualidad pertenecen al listado de minerales críticos y estratégicos a nivel mundial, Litio, Antimonio, Cobalto, Manganeseo, etc., los cuales están asociados a los adelantos tecnológicos. La importancia de la minería en Chile queda demostrada, por lo que es necesario una moratoria con la cual, el país prepare sus bases y su manera de abordar la minería de la nueva era. Por las características del país y su marco regulatorio (Figura 38) Chile presenta un buen ambiente para la llegada de industrias extranjeras en minería submarina, ha de ser formulado un marco regulatorio.

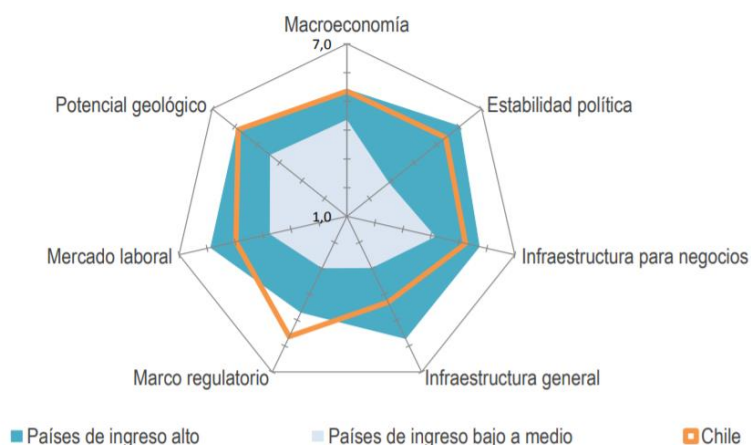


Figura 38 Desarrollo de Chile Fuente: Cochilco.

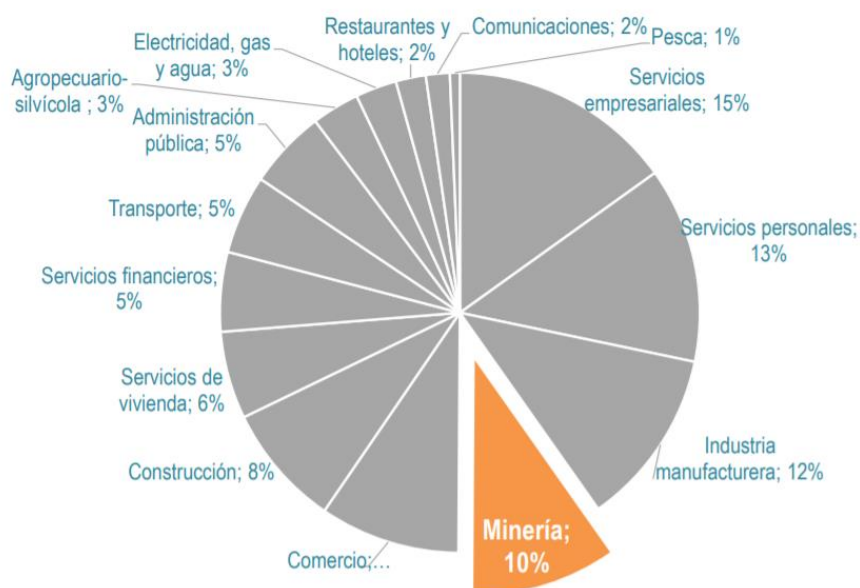


Figura 39 Participación Económica de la Minería en Chile Fuente: Cochilco.

El impacto de la minería corresponde al 10% dentro del país (Figura 39), en estadísticas el cuarto tras la industria manufacturera, superando en un 2% a la construcción, esta comparación con tal de hacer una idea del impacto que genera este sector que se encuentra diversificado a lo largo de todo el país.

En otro aspecto importante el impacto judicial de la minería submarina fue analizado por Saintard (2001), quien indica que el Estado de Chile ya cuenta con la estructura legal básica para que esta actividad también pueda efectuarse en aguas jurisdiccionales; más aún, ya se han suscrito contratos especiales de operación para sustancias minerales metálicas ubicadas en el subsuelo de los fondos marinos del Estrecho de Magallanes y de la bahía de Nassau (55°23'S, 67°50'W). Sin embargo, no es claro si las evaluaciones y estudios requeridos tienden a cautelar efectivamente la diversidad biológica y los ecosistemas marinos que pudieran ser afectados por estas actividades [19].

Capítulo 9: Proyecciones

Si bien no existe mucha literatura chilena con respecto a las posibilidades de los yacimientos presentes en las aguas territoriales, se pueden considerar algunas proyecciones a partir del comportamiento esperado por la minería terrestre y las relaciones de desarrollo de la minería submarina.

9.1 Relación tipo de faena consumo de agua del 2019 al 2030

Una de las principales preocupaciones entorno a la minería en la actualidad es el uso de recursos hídricos, tanto en faenas como en el procesamiento, en consideración de la estadística de proyección de uso de este recurso, o predicciones de su uso; el gráfico indica que sin importar el paso de los años el uso de agua por parte de las faenas terrestres superará con creces el que pudiere ser usado por minería submarina, la ubicación de las faenas, promueve el uso de agua de mar y al ser un medio oceánico, los procedimientos de transporte con material húmedo es en uso de la misma presente en el lugar. El consumo de agua por parte de las faenas submarina no supera el 10% de lo que es utilizado por faenas terrestres (Figura 40); en este sentido es una forma de reducir los consumos de agua por la minería, realizar migraciones de tierra a mar. El uso del agua en el procesamiento de los minerales ha ido en incremento debido a las bajas leyes que día a día son explotadas, mientras que si las leyes subieran el uso de agua en su procesamiento disminuiría, generando así un ahorro del recurso hídrico; este recurso es vital importancia, debido al agotamiento de agua dulce.

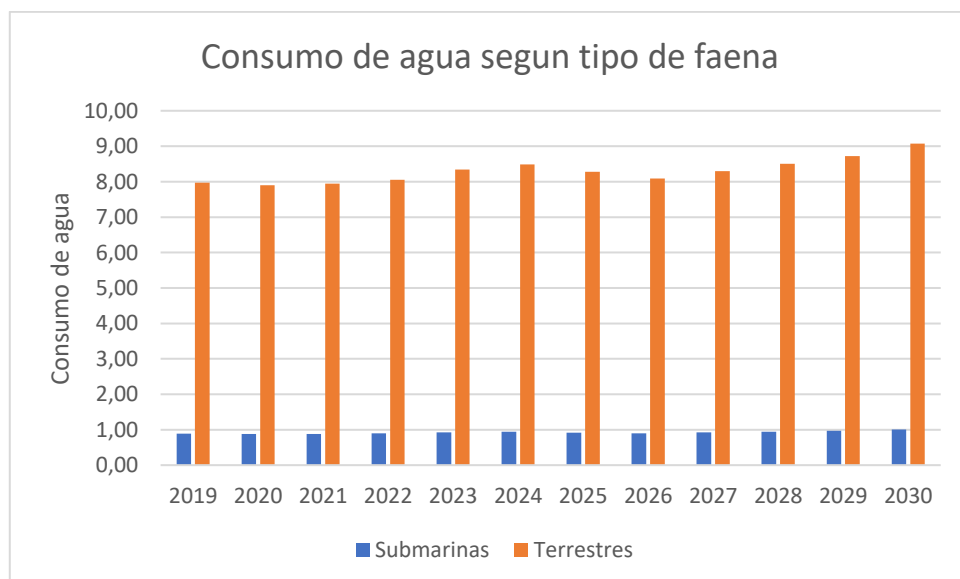


Figura 40 Consumo de Agua Minería Submarina y Terrestre Fuente: Elaboración Propia

9.2 Proyección Económica.

Debido a la falta de información con respecto a los yacimientos en Chile y los costos asociados a estos, así como en el resto del trabajo se consideran datos de otros lugares o empresas para poder continuar con el propósito del estudio, se realiza un cálculo de factibilidad simple para una situación de yacimiento en Chile utilizando los costos operativos para el proyecto “Solwara 1” (Tabla 6).

Tabla 6 Costos Operativos Solwara 1 Fuente: Mining Data Online

Category	Cost	Unit
Mining and mine closure	172	US\$ per dry tonne mined
Shipping	20	US\$ per dry tonne mined
Processing (non-smelter)	43	US\$ per dry tonne mined
Processing (smelter TC/RC)	39	US\$ per dry tonne mined
Total	274	US\$ per dry tonne mined

Otro costo por considerar es el costo del barco de apoyo y traslado al puerto y a la zona en que se tratará el mineral, Nautilus reportó un costo de 25 USD/ton considerando que su trayecto al puerto donde será tratado es de 7812 km, esto dado a que el yacimiento cercano a Robinson Crusoe (nódulo polimetálico). solo está a 662 km del puerto de Lebu. El acceso a un puerto más grande como es el de Talcahuano son 160 km se considera que la distancia para Chile es de 822 km y se estima un costo de 2.63 USD/ton, para evitar subestimar el valor se considerara 5 USD/ton, considerando un posible traslado sobre tierra.

Se dará uso de los precios de minerales presentes en la tabla 7 al mes de diciembre, con el fin de poder realizar los cálculos lo más actualizado posible, datos tomados desde Fuentes oficiales asociadas al mercado de minerales.

Tabla 7 Precios de los Minerales. Fuente: Bolsa de Metales de Londres.

Mineral	Precio	Unidad
Cu	7736.04	usd/ton
Mn	140.00	usd/ton
Co	90388.30	usd/ton
Au	1894.00	usd/onza
Ag	0.85	usd/gramo
Ni	16754.90	usd/ton
Pt	34.25	usd/gramo

Considerando para continuar con los cálculos una situación de faena similar a las terrestres.

Días trabajados al año: 320 días / 22 horas diarias / Debido a mantenciones programadas un 95% de Disponibilidad/ 100% de utilización asumiendo minería continua/ Se asume una recuperación de 80% para todos los minerales.

plan de producción propuesto por “Flückiger y Valenzuela” en TPA:

- Nódulos Polimetálicos: 3000000
- Costras Ferromagnéticas: 1000000
- Sulfuros Polimetálicos: 1500000

No se debe dejar de lado la composición y leyes de los yacimientos:

Tabla 8 Composición de Yacimientos. Fuente: “Departamento de ciencias de la tierra de la universidad de Concepción”

Mineral	Nódulo (t).	Ley
Cu	30000	1%
Mn	750000	25%
Co	6600	0.22
Au*		
Ag*	1500	500
Ni	39000	0.22%
Pt*		
* Minerales en gr/ton		

Mineral	Costra (t)	Ley
Cu		
Mn	220000	22%
Co	9000	0.90%
Au*		
Ag*		
Ni	6000	0.60%
Pt*	0.5	0.5
* Minerales en gr/ton		

Mineral	Sulfuro (t)	Ley
Cu	75000	5%
Mn		
Co		
Au*	15	10
Ag*	750	500
Ni		
Pt*		
* Minerales en gr/ton		

La misma Fuente de la tabla 8 afirma que el material presente en el fondo oceánico es capaz de extraerse a una tasa de millones de toneladas por año, sin dar indicios de la cantidad de tiempo, ahora bien, se sabe que la minería marina será breve, por lo que se asumirá una duración por proyecto de 4 años.

Para obtener la ley equivalente del yacimiento se realizan cálculos asociados a factores de conversión considerando al cobre como el mineral principal para el caso de los nódulos. Ecuaciones en la sección de Anexos.

Tabla 9 Nódulo de Manganeso. Fuente: Elaboración Propia.

Factor Conv.			
Cu-Ni	2.17	Ley Eq.	6.84%
Cu-Co	11.68	Cu Fino (t)	205218
Cu-Mn	0.018	Beneficios (\$)	735574657

Considerando este cálculo simple, es notorio el alto beneficio (Tabla 9) de los yacimientos de fondo marino debido a los bajos costos de operación. Para que sea completo se repetirá el ejercicio para el resto de los tipos de yacimientos (Tabla 10). Debido a que las costras en el mar territorial chileno se encuentran en las cercanías de la isla de Pascua y que el puerto más cercano a esta zona es Chañaral a más de 4000 km el costo de traslado será considerado como el normal de Solwara I, los 25 USD/ton.

Tabla 10 Costra Cobaltífera. Fuente: Elaboración Propia

Factor Conv.			
Co-Ni	0.185	Ley Eq.	1.04%
Co-Mn	0.00154	Co Fino (t)	15673
		Beneficios (\$)	14000000000

Por último, el yacimiento de Sulfuros, este se considera sin discriminar los minerales que le componen: Con un beneficio de \$1.150.000.000

Para el desarrollo del plan de producción antes expuesto en TPA, la tabla 11 presenta la capacidad de los equipos utilizados por Nautilus.

Tabla 11 Rendimiento Equipos Nautilus Fuente: Nautilus Minerals

Tipo de Maquina	[Ton/hr]	[Ton/Año]
Cortadora auxiliar	472	3738240
Cortadora acumuladora	472	3738240
Maquina Colectora	331	2621520
Bomba impulsora	331	2621520

Para obtener la cantidad de equipos se da uso de la ecuación en anexos. Y se obtiene que para cada depósito:

Nódulos Polimetálicos: TPA: 3.000.000

Cortador Auxiliar: 0.80 Equipos. Por lo tanto, con solo 1 es suficiente

Cortador Acumuladora: 0.80 Equipos. Por lo tanto, con solo 1 es suficiente

Maquina Colectora: 1.14 Equipos. Esto queda como 2 Equipos.

Bomba Impulsora: 1.14 Equipos. Esto queda como 2 Equipos. U optar por una bomba más grande.

Según los cálculos expresados para lograr extraer el nódulo polimetálico que se encuentra cercano a Robinson Crusoe, se necesitaría 1 Cortador Auxiliar, 1 Cortador Acumulador, 2 Maquinas Colectoras y 2 Bombas Impulsoras.

Costra de Cobalto: TPA: 1.500.000

Sulfuros Polimetálicos: TPA: 1.000.000

Debido a que ambos yacimientos presentan TPA inferiores a los nodulos, con el sistema calculado para nódulos quedaría sobredimensionado, por lo que en este caso se recomendaría probar con otras opciones, equipos más pequeños, o un método de extracción distinto del Rov's.

9.3 Análisis FODA

A través de este análisis se menciona pros y contras de la instauración de un proyecto de minería submarina en las costas chilenas, considerando cualquier tipo de yacimiento marino.

FORTALEZAS - Chile es un país Minero - Existencia de metodología necesaria - Bajo riesgo para vidas humanas. - Alcance de mineral de alta ley. - Faenas con menor producción de lastre.	OPORTUNIDADES - Mayor facilidad de obtener un producto comercializable. - Crecimiento de la demanda mineral. - Precio actual de los metales. - Avance de las tecnologías. - Nuevas Fuentes de empleos. - Mayor especialización de profesionales.
DEBILIDADES - Poco conocimiento de los fondos marinos. - Poca inversión en investigación. - Dificultades del área de estudio.	AMENAZAS - Alto costo operacional. - Resguardo medioambiental. - Normativa legal. - Competencias con la minería terrestre.

Capítulo 10: Conclusiones y Recomendaciones

Finalizando en este capítulo se presentan las conclusiones y apreciaciones de la búsqueda del estudio, junto a recomendaciones que puedan fortalecer el material disponible a futuro.

10.1 Conclusiones

Para concluir, cabe resaltar que gracias a que los avances tecnológicos han incrementado, la minería submarina se ha vuelto más viable, ya que se facilita la adquisición de equipos y diversos recursos necesarios para este tipo de explotación, demostrado por la puesta en marcha del caso de estudio Solwara 1, por lo cual, la posibilidad técnica del proyecto puede ser convertida en una realidad. Esta situación sumada al último capítulo donde se realiza un análisis con respecto a equipos necesarios y factores económicos propios del país permite concluir en la viabilidad futura de faenas submarinas en Chile.

Solo se han presentado 3 posibles yacimientos en el informe, debido a la poca información obtenida con respecto a las ubicaciones de estos, ya que la ZEE chilena apenas se encuentra explorada en menos de 1.5%.

Actualmente Chile se encontraría en condiciones de realizar investigaciones y propuestas de estos sistemas, ya que podría ser uno de los países mejor adaptados para estas faenas. El gran acceso al océano Pacífico convierte a Chile en un potencial país minero submarino; por lo que sería pertinente investigar, pues la falta de conocimiento podría provocar grandes pérdidas económicas, debido al gran aporte que denota la minería en la economía del país.

Con respecto al medio ambiente, la principal dificultad presentada para la implementación de estos métodos de extracción sería el impacto que se genera sobre la flora y fauna marina, como lo es la eliminación directa de hábitats, la contaminación lumínica y acústica. Siendo conscientes de que tanto las faenas marinas como las terrestres producen cambios en su espacio físico, se genera la necesidad de categorizar y cuantificar el grado de impacto que provocan, concluyendo que el daño producido por faenas terrestres es mayor en el uso de suelos, debido a la construcción de infraestructuras, depósitos de desechos y relaves; mientras que en la minería submarina la producción de material no comerciable es menor, ya que el material no mineral es retornado al lecho marino. La minería submarina es más amigable al ambiente, ya que a la larga produce menor daño que la pesca de arrastre, por lo cual, es una práctica aceptada en un porcentaje del sur de Chile.

En términos económicos para el país existe una visión interna y externa. La visión interna hace referencia a la actividad minera que representa el 10% del PIP a nivel nacional. Los beneficios

obtenidos en base a la disminución de recursos hídricos y el aumento de leyes a partir de yacimientos submarinos generarían un incremento valioso en los ingresos económicos. En cuanto al sentido externo, Chile es caracterizado por un marco regulatorio superior a los países latinoamericanos, lo que lo vuelve atractivo para la inversión extranjera, permitiendo recibir a futuro compañías interesadas en la explotación de yacimientos submarinos.

Como la inversión monetaria realizada para la puesta en marcha de Solwara es similar a la de proyectos terrestres en el país; el mar de Chile, cuyos recursos biológicos nos permitieron exportar 410 millones de dólares en productos en 1982 y sus recursos petrolíferos produjeron un ingreso bruto de otros 350 millones de dólares en el mismo año, hace estimar que Chile podría ser un país apto para realizar ese tipo de inversión, gracias a las riquezas minerales que podría contener el mar en sus cordilleras, lecho, suelo y subsuelo de sus fosas submarinas.

En la última sección del estudio queda demostrado los grandes beneficios que podrían aportar las faenas de fondo marino, ya que son faenas viables tanto técnica como económicamente.

10.2 Recomendaciones

Se requiere una campaña de exploración y de evaluación de recursos metálicos submarinos en el mar territorial más visionaria y ambiciosa. Debido a la importancia que representa la minería en Chile y el conocimiento y desarrollo de tecnologías de extracción y procesamiento, el país está en un buen pie para desarrollar la minería submarina. De todas formas, hay bastantes puntos que se han abarcado en este estudio, métodos de exploración más selectivos o la búsqueda de métodos de explotación más económicos, la necesidad de analizar la decisión de la moratoria dentro del país, la formación de instituciones encargadas del estudio y administración de material asociado a la minería submarina dentro del país.

La falta de investigación de los fondos marinos en cuanto a la sustentabilidad de la vida marina en condiciones industriales ha retrasado la implementación de los posibles proyectos de minería bajo el mar, debido a esto este informe propone una posibilidad de continuar estudiando, así poder promover a tal grado se pueda implementar de manera segura.

Se recomienda la realización de más estudios asociados a los factores técnicos y económicos, de estos métodos en Chile, cambiar la visión de estudiar si es sustentable y realizar estudios de que sería necesario para volverla sustentable. Futuras investigaciones pueden abarcar proyectos de remediación para los efectos ambientales con el fin de presentar proyectos factibles para su funcionamiento. En consideración que se ha realizado parte de un estudio económico y técnico para depósitos presumibles en Chile, se recomienda realizar evaluaciones más en profundidad.

Bibliografía

- [1] EddyPUMP. (2016). Explotación submarina - Operaciones de dragado del fondo marino y de la minería del océano profundo. Consultado el 15 de mayo de 2020. <https://eddyump.com/es/Educaci%C3%B3n/miner%C3%ADa-submarina-dragado-de-aguas-profundas/>
- [2] Instituto de Ingenieros de Minas en Chile. (2020). La minería submarina ya no es ciencia ficción. <https://www.iimch.cl/index.php/noticias2/actualidad/736-la-mineria-submarina-ya-no-es-ciencia-ficcion>
- [3] Lapteva, A., Chernova, A., Khodina, M., Mustafa, T., Mustafina, F., y Smolnikova, A. (2020). Study of the Potential Impact of Polymetallic Nodules Production from the Area on the Economies of Developing Land-based Producers of those Metals which are Likely to be Most Seriously Affected. N.M. Fedorovsky.
- [4] Ocmal. (2020). Minería submarina. Consultado el 17 de marzo de 2021. <https://www.ocmal.org/mineria-submarina/>
- [5] Ferrer, H. (1994). Perspectivas sobre la naciente industria para la explotación del océano profundo. Revista Marina, 1(99), 2-3.
- [6] International Seabed Authority. (2007). Biodiversity, species ranges, and gene flow in the abyssal Pacific nodule province: predicting and managing the impacts of deep seabed mining. Technical Study, 3, 1. <https://isa.org.jm/files/files/documents/techstudy3.pdf>
- [7] Mulsow, S. (2019, Julio 16). Minería submarina: la actividad más lucrativa del rubro y ambientalmente incompatible. Elmostrador. R1.
- [8] Quiñones, C. (1983). Minerales submarinos del mar de Chile. Revista Marina, 4, 3-5. <https://revistamarina.cl/revistas/1995/4/cquinonesl.pdf>
- [9] Toro, N., Jeldres, R., Robles, P., Órdenes, J., y Navarra, A. (2020). Manganese nodules in Chile, an alternative for the production of Co and Mn in the future-a review. <https://www.mdpi.com/2075-163X/10/8/674/htm>
- [10] Vergara, H. (2017). Nueva generación de instrumentos de sondeo en altas profundidades. Revista Marina, 79(2), 8.
- [11] Manzanares, A., Gonzalez, J., Somoza, L., Farjas, M., Leon, R., y Medialdea, T. (2012). Potencial de la minería submarina: Aplicación SIG para el estudio previo de contratos de exploración de costras de ferromanganeso con alto contenido en cobalto en los fondos marinos internacionales conforme al código minero regulado por la AIFM. http://info.igme.es/SidPDF/166000/942/166942_0000001.pdf
- [12] Quiñones, C. (1983). Sulfuros polimetálicos en el mar de Chile. Revista Marina, 5(83), 2-6. <https://revistamarina.cl/revistas/1983/5/quinones.pdf>

- [13] Castilla, J., y Herrera, J. (2012). Tendencias en perforación. En J. Castilla Gómez, y J. Herrera Herbert, El Proceso de Exploración Minera mediante Sondeos (pp. 70-75). E.T.S de Ingenieros de Minas de Madrid.
- [14] Morales, E., Winckler, P., y Herrera, M. (2019). Costas de Chile. https://ingenieriaoceanica.uv.cl/images/extension/documentos_ico/2020-Morales_Winckler_Herrera-Costas-de-Chile.pdf
- [15] Olivares, M., Cabrera, M., Rosales, L., y Carranza, A. (2014). Nódulos Polimetálicos. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/703/nodulos.pdf>
- [16] Flückiger, M., y Valenzuela, E. (1994). Impacto de la minería submarina en la producción minera de Chile. Congreso Geológico Chileno (7ª ed. pp. 286-289). Sernageomin.
- [17] Leach, S., Smith, G., y Berndt, R. (2012). SME Special session: Subseas Slurry lift pump technology - SMS Development. <https://onepetro.org/OTCONF/proceedings-abstract/12OTC/All-12OTC/OTC-23224-MS/37114>
- [18] Sharma, R. (2017). Desarrollo de un plan de gestión ambiental para la minería de aguas profundas. En R. Sharma, Minería de aguas profundas (pp. 483-484). Springer International Publishing.
- [19] Gálvez, M. (2009). Montes submarinos de Nazca y Salas y Gómez: una revisión para el manejo y conservación. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-560X2009000300016
- [20] Paulikas, D., Katona, S., Ilves, E., Saleem, A. (2020). Lyfe cycle climate change impacts of producing battery metals from land ores versus deep-sea polymetallic nodules. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0959652620338671?token=187DF7639D41C61A22BC98726D6BC6134FC270C26DF12D7E7D8D943E6370408DDB1A22D23C3334113275F664F7B35608>
- [21] Losada, S., y Terras, P. (2018). MINERÍA SUBMARINA: En decisión un tipo de explotación con daños irreversibles. <http://oceanosanos.org/mineria-submarina-en-decision-un-tipo-de-explotacion-con-danos-irreversibles/>
- [22] Bernd, C., Anneke, D., & Sabine, C. (2020). Efectos potenciales de la minería de los fondos marinos sobre la biota pelágica y bentopelágica. Política Marina, Artículo 103442
- [23] Minería&tuVida. (2016). Minerales en el celular. Consultado el 18 de julio de 2020. <https://www.lamineriaentuv vida.com.ar/minerales-en-el-celular/contend>.
- [24] Buschmann, A., y Astudillo, C. (2004). Pesca de arrastre arrasando la vida marina. Oceana, 6, 6-8.
- [25] GreenPeace. (2011). Necesitamos una nueva política para salvar los océanos. Investigación en el océano, 2(2), 2-3. <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/oceanos/InquirerEspania-olbaja.pdf>

- [26] Rocher, A. (2012). Minería submarina, nuevo mundo, nuevos recursos. Portal minero. <http://www.portalminero.com/pages/viewpage.action?pageId=10911746>
- [27] Minería chilena. (2017). Minería del fondo del mar será una realidad en 2018. Panorama prospectivo Con el desafío de impulsar la exploración greenfield, 476, 9-12. <https://www.mch.cl/reportajes/mineria-del-fondo-del-mar-sera-una-realidad-2018/#>
- [28] Gonzalez, A. (2017). Minería oceánica en el derecho chileno (Tesis para la obtención del grado de Magíster en Derecho. Repositorio institucional) <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/144454>
- [29] DSMF. (2020). Sulfuros masivos del fondo marino. Consultado el 18 de diciembre de 2020. <https://dsmf.im/solwara-1/>
- [30] Titelman, D., Jiménez, L., Loschky, A., Germán, J., Carvallo, P., Martner, R., Jiménez, J., Hanni, M., González, I., Pineda, R., Cárcamo, R., Tateno, Y., Acevedo, A., Manuelito, S., Baek, S., Weller, J., y Díaz, A. (2014). Resumen ejecutivo. En D. Titelman, Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe (pp. 10-12). Cepal.



Anexos.

	Tierra	Nodulos	Relacion
Cambio Climatico			
GWP- Emisiones Equivalentes CO2- Gt	1.45	0.43	70.3
Carbono Almacenado en Riesgo, Gt	9	0.6	93.3
Recursos No Renovables			
Uso de Mineral, Gt	25	6	76.0
Uso de Suelos, Km2	156000	9800	93.7
incluyendo uso de bosques, Km2	66000	5200	92.1
Suelo Marino, Km2	2000	508000	99.6
Agua Utilizada Km3	45	5	88.9
Energia Primaria y Secundaria Extraida, PJ	24500	25300	-3.3
Habitat Dañada			
Basura Solida, Gt	64	0	100.0
Ecotoxicidad Terrestre, 1.4 DCB equivalente Mt	33	0.5	98.5
Ecotoxicidad de Agua Fresca 1.4 DCB equivalente Gt	21	0.1	99.5
Potencial de Eutrofizacion, PO4 Eq. Mt	80	0.6	99.3
Vidas Humanas y Vida Salvaje			
Toxicidad en Humanos, Eq. Millones de Toneladas	37000	286	99.2
Emisiones de SO y NO, Mt	180	18	90.0
Numero de Vidas Humanas de Riesgo	1800	47	97.4
MegaFauna en Riesgo, Trillones de Organismos	47	3	93.6
Biomasa en Riesgo, Mt	568	42	92.6
Riesgo de Perdida de Biodiversidad	Presente	Presente	
Impacto Economico			
Costo de Produccion Sulfato de Niquel	14500	7700	46.9
Creacion de Trabajos no Artesanales, Trabajador-Año	600000	150000	75.0

Mina	valor anual de los impactos sobre los servicios del ecosistema (\$)	valor presente de los impactos sobre los servicios del ecosistema (\$)	produccion total de cobre en la vida de la mina (\$)	impacto relativo sobre los servicios del ecosistema por tonelada de cobre
Solwara I (Propuesto)	24724	605871	127186	1
Prominent Hill	1919065	47026675	2000000	4.9
Bingham Canyon	42864859	1050403319	17000000	13
Intag (Propuesto)	8797585	215584802	9906472	4.6

Ecuaciones utilizadas en proyección económica:

$$\text{Factor de conversión } (FCn) = (Pn \times Rn) / (P \times R)$$

Ecuación 1

P= Precio del producto principal

R= Recuperación del producto principal

Pn=Precio del subproducto

Rn=Recuperación del subproducto.

$$\text{Ley equivalente } (Leq) = Lp + (FC1 \times L1) + (FC2 \times L2) + \dots + (FCn \times Ln)$$

Ecuación 2

Lp = Ley de concentración del producto principal

Fcn= Factor de conversión del subproducto n

Ln= Ley del subproducto n.



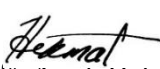
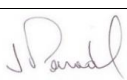
$$B = I - C$$

Ecuación 3

$$\frac{\text{Plan produccion Anual}}{\text{Rendimiento Equipo Anual}}$$

Ecuación 4

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN - FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Metalúrgica
Hoja Resumen Memoria de Título

Título: Análisis comparativo del potencial de extracción de reservas submarinas en Chile		
Nombre Memorista: Eliecer Antonio Muñoz Rodríguez		
Modalidad	Investigación	Profesor (es) Patrocinante (s)
Concepto	Muy bueno	 Prof. Asieh Hekmat
Calificación	6.4	
Fecha	08-04-2021	
 Prof. FERNANDO PARADA		Ingeniero Supervisor:
		Institución:
Comisión (Nombre y Firma)		
 Prof. Ramón Díaz N.		M. Sc. Juan José Latorre
Resumen		
Chile es reconocido por ser un país cuyo sostén económico, crecimiento y desarrollo se ve directamente potenciado por la minería, actividad que puede verse afectada por ciertas circunstancias que deben ser superadas para que continúe siendo el motor en el desarrollo nacional. En cuanto a estas limitaciones, las principales son: el agotamiento de recursos, la explotación de minerales de baja ley en la actualidad y el incremento en el uso de agua para procesos. Es por ello por lo que se considera como una alternativa viable la búsqueda de nuevas Fuentes minerales mediante la minería de lecho marino o submarina, la cual contiene nuevos yacimientos de buena ley para extracción. Se busca considerar a la minería submarina de sulfuros polimetálicos, nódulos de manganeso y costras cobaltíferas como una solución a las 3 limitantes planteadas, considerando estos yacimientos como relativamente inexplorados, de alta ley y diversidad mineral, además de que el uso de recursos hídricos es menor para su procesamiento. El presente estudio se llevó a cabo bajo una revisión bibliográfica de investigaciones afines al tema, con el fin de conocer, analizar y promover el uso de la minería submarina en Chile. Los resultados extraídos de los distintos estudios presentan una vista desde lo global a lo específico, permiten conocer métodos de exploración y explotación, como también realizar un análisis comparativo con respecto a otro tipo de faenas mineras, además ejemplifica cómo es el estudio y aplicación de la minería de fondos marinos a nivel internacional y así poder mensurar el grado de impacto ambiental para lograr vislumbrar su uso nacional. La necesidad de reforzar los estudios en favor de la minería submarina se hace imprescindible para la implementación del método, ya que a pesar de que el nivel tecnológico para su desarrollo ha sido alcanzado, no se ha logrado definir el nivel de impacto ambiental de forma concreta, por lo cual, es imprescindible aumentar el número de investigaciones, puesto que, si bien están encaminadas en la búsqueda de técnicas de remediación, aún no han logrado ser implementadas. La implementación de una mina de Nódulos de Manganeso o Sulfuros Polimetálicos tiene potencial en Chile, debido a la existencia de este tipo de yacimientos en la ZEE, el alcance y las posibilidades tecnológicas del país y también el potencial humano para estas faenas. En consideración que la influencia de la minería en la economía del país corresponde al 10% se hace necesario la búsqueda de innovación tecnológica y nuevas Fuentes minerales, la minería submarina se convierte en una buena alternativa para subsanar la escasez hídrica dado su bajo consumo de agua y baja generación de desechos, aportando al control de contaminación. En definitiva, una faena submarina es posible tras mayor investigación logística y es un espacio que requiere profundizar los estudio, tanto en exploración como potencial impacto ambiental y para ello, la moratoria se hace necesaria.		

