

# SULFUROS POLIMETALICOS EN EL MAR DE CHILE

*Carlos Quiñones López*  
*Contraalmirante*

## **DEFINICION, UBICACION Y FORMACION DE LOS SULFUROS POLIMETALICOS**

### **Definición**

Se le ha dado el nombre de sulfuros polimetálicos a los minerales con alto contenido metálico 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 mesoocéánicas del Pacífico y del Atlántico.

### **Ubicación**

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.

### **Formación de los depósitos**

Gran parte de la atracción que ejercen los sulfuros polimetálicos en los medios científicos se debe a la naturaleza dinámica de su formación y a su influencia en la hipótesis de la evolución de la Tierra.

Del entendimiento de las condiciones necesarias para la formación de éstos, los científicos no sólo esperan obtener los medios para predecir la ocurrencia de otros depósitos marinos sino también la capacidad para explicar los procesos de formación de los depósitos terrestres de origen marino.

Para poder apreciar la íntima relación existente entre la mineralización producida por las fumarolas hidrotermales y la dinámica de la Tierra, debe analizarse el proceso bajo el contexto de la Teoría Tectónica de Placas, la que en términos generales identifica el movimiento de "placas" de la corteza terrestre que, flotando sobre un material más viscoso, se desplazan impulsadas por fuerzas de convección desde el interior de la Tierra.

La formación de montañas como el Himalaya, de yacimientos como el del mar Rojo, de volcanes como los de Islandia y los Centros de Expansión Oceánica, son expresiones tangibles de esos procesos dinámicos.

Los centros de separación, son áreas donde rocas fundidas (de menor densidad que las rocas sólidas de la fría corteza oceánica) ascienden desde las profundidades de la Tierra, hasta el fondo del mar, a medida que las placas se separan.

La velocidad de separación varía de 2,5 a 17 centímetros por año. Se han encontrado sulfuros en áreas de velocidades medias y altas. Se estima que existen 14.000 kilómetros de regiones de separación rápida, principalmente en el océano Pacífico.

El proceso de mineralización se inicia con la interacción del agua del mar con la roca fundida. El agua filtra hacia abajo a través de las fracturas de la corteza y, a medida que su temperatura aumenta, actúa sobre la roca lixiviando los metales. La clave para la formación de depósitos de minerales es que se produce una alta concentración de minerales en el agua filtrante. Al subir y salir al exterior, el agua y salmuera (de 300 a 400 grados centígrados de temperatura), cargada de minerales, se mezcla con el agua fría exterior (2 grados centígrados) y los metales se precipitan como minerales sulfurados a lo largo de las fracturas, depositándose en capas formando una corteza o formando chimeneas. Esta alta temperatura se mantiene porque el agua no se mezcla con el agua fría hasta que sale por las fumarolas.

El grado de filtración de la solución de minerales en el subfondo depende de la porosidad o del grado de fractura de la superficie rocosa, lo que determina la temperatura de salida y la composición del fluido hidrotermal. La composición puede variar desde una solución alta, rica en manganeso, una intermedia, rica en hierro, a una baja rica en sulfuros. En sus observaciones, los investigadores han encontrado depósitos de sulfuros polimetálicos en las fumarolas o chimeneas, depósitos de óxido de manganeso en zonas un poco alejadas y depósitos de óxidos de hierro a mayor distancia de las fumarolas activas.

## **INSTRUMENTAL Y EQUIPOS**

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, 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.

### **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. 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 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.

### **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. Uno de tales sistemas, mantenido por el Laboratorio Físico Marino de Scripps, ha estado recogiendo datos de gran precisión desde 1960; tal sistema tiene las siguientes capacidades:

1. Navegación con 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 sondas 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.

### **Submarinos de investigación**

Los submarinos con control local permiten a los científicos descender a grandes profundidades para efectuar observaciones directas, registrar datos físico-químicos y sacar muestras. Uno de ellos es el *Alvin*, propiedad de la Oficina de Investigación Naval; 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.

## **EL MAR DE CHILE**

### **La Declaración Presidencial del 23 de junio de 1947**

Con una extraordinaria visión a futuro, en dicha declaración el gobierno de Chile proclama la soberanía nacional sobre el zócalo continental adyacente a las costas continentales e insulares del territorio nacional, cualquiera que sea la profundidad en que se encuentra, reivindicando todas las riquezas naturales que existen sobre dicho zócalo, en él y bajo él conocidos o por descubrirse. Proclama también la soberanía sobre los mares adyacentes a sus costas para reservar, proteger, conservar y aprovechar los recursos y riquezas naturales, sometiendo a la vigilancia del gobierno especialmente las faenas de pesca y caza marítimas.

Demarca las zonas de protección y pesca marítimas dentro del perímetro formado por la costa con una paralela matemática proyectada en el mar a 200 millas marítimas de distancia de las costas continentales chilenas.

### **Tercera Conferencia sobre el Derecho del Mar**

El texto de la Convención, de la cual Chile es país signatario, en su parte V (Zona Económica Exclusiva) define, limita y especifica los derechos, jurisdicción y deberes, tanto del Estado ribereño como de otros Estados.

La anchura de la Zona Económica Exclusiva, queda especificada y no se extenderá más allá de 200 millas, y en ella el Estado ribereño tiene derechos de soberanía para los fines de exploración y explotación, conservación y ordenamiento de los recursos naturales, tanto vivos como no vivos, del lecho y el subsuelo del mar y de las aguas suprayacentes, y con respecto a las actividades con miras a la exploración y explotación económicas de la zona, tal como la producción de energía, derivada del agua, de las corrientes y de los vientos.

### **Extensión del mar de Chile**

Los antecedentes jurídicos anteriormente citados permiten comprobar que la Zona Económica Exclusiva constituye una creación nuestra, que después de transcurridos 35 años desde su promulgación ha tenido ahora aceptación universal.

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

Esa larga y angosta faja de tierra que conforma nuestro territorio continental, con sus casi 5.000 kilómetros de costa genera un mar patrimonial de 2.400.000 kilómetros cuadrados que, sin contar la Antártica ni sus islas, equivalen a un dominio marítimo tres veces mayor que el terrestre.

## **SECTORES DE INTERES EN EL MAR DE CHILE**

Hay dos regiones de alto interés de investigación de parte de la comunidad científica internacional; 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 —en parte— dentro de aguas jurisdiccionales.

La segunda, en el continente y en latitud 47° sur, tiene grandes similitudes 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.

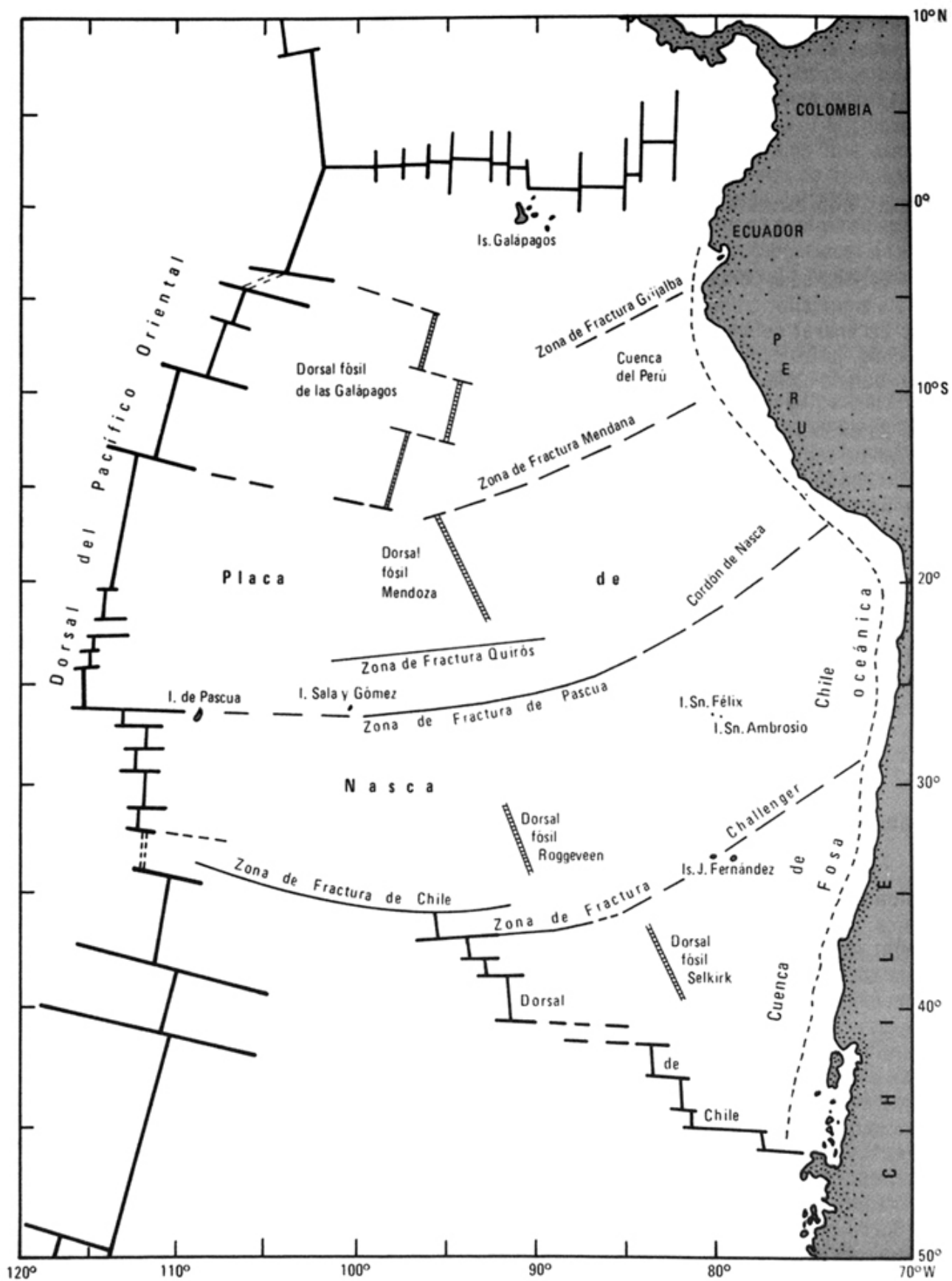
## **PROSPECCION DE LOS RECURSOS MINERALES**

### **Disposiciones legales:**

- El decreto ley N° 3.525, de 1982, en su título I, Art. 1°, inciso 5°, entrega al Servicio Nacional de Geología y Minería las tareas de propiciar, coordinar, incentivar y realizar estudios e investigaciones de geología submarina, tendientes al conocimiento de los recursos minerales contenidos en los fondos marinos de nuestras aguas jurisdiccionales.

- El decreto supremo 711 (M), de 1975, reglamenta el Control de las Investigaciones Científicas y Tecnológicas Marinas que se efectúan por naves extranjeras y nacionales dentro del área jurisdiccional de las 200 millas.

Establece que la solicitud respectiva de personas extranjeras, naturales o jurídicas, deberá presentarse con seis meses de anticipación a la fecha en que se pretenda iniciar la investigación.



OCEANO PACIFICO SURORIENTAL. RELIEVE SUBMARINO

Especifica que el Instituto Hidrográfico de la Armada velará porque en la planificación y ejecución del programa se considere una real participación de expertos nacionales, y que la nave, antes de abandonar el país, entregue copia de los datos y resultados obtenidos en las investigaciones realizadas.

Por otro lado, establece que los jefes de las expediciones científicas deberán enviar al citado Instituto un informe final, dentro de un plazo no mayor de 6 meses desde el zarpe desde Chile.

- La Constitución Política de la República de Chile, promulgada en 1980, en su capítulo III, Art. 24, inciso 10° señala —para los yacimientos existentes en las aguas marinas sometidas a la jurisdicción nacional— que su exploración, explotación o beneficio, podrán ejecutarse directamente por el Estado o por sus empresas o por medio de concesiones administrativas o de contratos especiales de operación.

### **Plan general para efectuar las prospecciones**

- Pascua como centro de prospecciones. El área adyacente a la isla de Pascua constituye en la actualidad un polo de creciente interés científico de parte de la comunidad internacional, y la reciente obtención de muestras de sulfuros polimetálicos en el área internacional, pero a menos de 700 millas, permite prever que habrá nuevas expediciones en los años venideros.

La posición geográfica privilegiada de la isla de Pascua, en una zona distante de cualquier otro centro poblado, hace necesario considerar la instalación de un puerto que permita dar apoyo logístico a las naves de exploración. De concretarse cualquier explotación, Pascua sería el área probable en que se instalarían las plantas concentradoras de minerales.

- Participación del Servicio Nacional de Geología y Minería, y de universidades: La participación de este Servicio en las expediciones geológicas extranjeras y nacionales que se realicen en el mar de Chile debe ser permanente, tratando de incorporar también a las universidades miembros del Comité Oceanográfico Nacional que tengan investigaciones específicas relacionadas con los estudios que la nave en cuestión realice.

Se debe contemplar también la preparación de profesionales mediante convenios con universidades e instituciones de países pioneros en la prospección de sulfuros polimetálicos, como asimismo efectuar intercambio de profesionales en las investigaciones que se realicen dentro y fuera del país.

- Apertura a las naciones industrializadas amigas. Los buques, equipos e instrumentos que se requieren para la prospección de sulfuros polimetálicos son de alto costo y gran complejidad. Pretender realizar las prospecciones con nuestros propios medios está fuera de nuestras disponibilidades financieras y más allá de nuestra capacidad tecnológica.

De ahí la necesidad de mantener la apertura de nuestro mar a naciones industrializadas amigas, con el propósito de realizar la prospección y eventualmente la exploración y explotación conjunta.

### **CONCLUSIONES**

El mar de Chile, con su concepción de la Zona Económica Exclusiva de 200 millas, constituye uno de los mayores logros económicos en nuestra historia. Sus 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.

Las riquezas minerales que probablemente contiene el mar de Chile en sus cordilleras y fosas submarinas, en su lecho, suelo y subsuelo, nos lanzan un desafío que tenemos la obligación de afrontar.

Otras naciones ya iniciaron la carrera contra el tiempo para explotar los recursos minerales de los océanos, y Chile —país tradicionalmente minero— se verá en serias dificultades económicas si no reacciona desde ya al llamado eterno de su mar.

Enap, con su Proyecto Costa Afuera, nos está dando el ejemplo más positivo de la participación de profesionales nacionales en proyectos marinos.

Una acción tomada con fe y resolución por profesionales capaces será siempre fructífera.

Las puertas están abiertas a la cooperación internacional. Ahora debemos cruzar el umbral para prospectar los recursos minerales de sulfuros polimetálicos en el Pacífico Sur, en las áreas continental e insular del mar de Chile.

