



Asamblea

Distr. general
9 de mayo de 2002
Español
Original: inglés

Octavo período de sesiones

Kingston (Jamaica)

5 a 16 de agosto de 2002

Exposiciones resumidas sobre yacimientos masivos de sulfuros polimetálicos y cortezas de ferromanganeso con alto contenido de cobalto

I. Minerales marinos y la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar¹

1. En el decenio de 1970 y a principios del decenio de 1980 se produjo una revolución científica en nuestra concepción de la forma en que funcionaba la Tierra que amplió apreciablemente nuestro conocimiento de los minerales marinos mientras se estaba formulando la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. La revolución científica entrañó un importante cambio en la percepción de las cuencas oceánicas y los continentes. Antes de la revolución científica, las cuencas oceánicas se consideraban como depósitos pasivos de los océanos. Los continentes y las cuencas oceánicas se consideraban como accidentes permanentes que se habían mantenido en su posición actual durante la mayor parte de la historia de la Tierra. Las disposiciones sobre minerales marinos de la Convención se redactaron desde el punto de vista de esta opinión antigua, que sólo reconocía los yacimientos de minerales marinos que se habían derivado de la erosión de la tierra y transportados al océano en forma de partículas o disuelta por los ríos. Estos minerales comprendían yacimientos de metales pesados (estaño, oro, etc.) y piedras preciosas (especialmente diamantes) depositados en sedimentos en las márgenes continentales, y nódulos de manganeso precipitados en los fondos abisales de metales disueltos en el agua de mar.

2. La revolución científica reveló que las cuencas oceánicas eran accidentes dinámicos que se abrían y cerraban en una escala de tiempo de millones de años, con un movimiento concomitante de las tierras emergidas conocido como deriva continental. La revolución científica reconoció que las cuencas oceánicas eran fuentes de tipos de yacimientos minerales diferentes de los que se conocían anteriormente. Estos tipos de recursos minerales marinos que ahora se reconocen incluyen sulfuros polimetálicos que contienen cobre, cinc, plata y oro en cantidades diversas. Los yacimientos de sulfuros polimetálicos han sido concentrados durante miles de años por fuentes termales de los fondos marinos en sitios a lo largo de una activa cordillera volcánica sumergida mundial que se extiende por todas las cuencas oceánicas del mundo. También existen yacimientos de sulfuros polimetálicos en sitios asociados con cadenas de islas volcánicas, como aquéllas a lo largo del límite occidental del Océano Pacífico. Otro tipo de recursos minerales marinos que ahora se reconoce son cortezas de hierro y manganeso con alto contenido de cobalto que se han precipitado durante millones de años en las laderas sumergidas de volcanes submarinos inactivos a partir de metales disueltos en agua de mar derivados de aportes de metales por ríos y fuentes termales en el fondo marino.

3. Las fuentes termales no sólo concentran yacimientos de sulfuros polimetálicos y dispersan metales en los océanos que contribuyen a la acumulación de



cortezas de hierro y manganeso con alto contenido de cobalto, sino que también proporcionan energía química del interior de la Tierra que utilizan los microbios para su crecimiento. Los microbios se hallan en la base de la cadena alimenticia de un ecosistema de organismos vivientes en las fuentes termales que en gran medida es independiente de la energía luminosa que sostiene la fotosíntesis en las plantas en la base de la cadena alimentaria terrestre. Los microbios están resultando importantes como fuente de nuevos compuestos para aplicaciones industriales y médicas, y también incluyen formas primitivas en las que quizás se halle la clave del origen de la vida. Un problema actual es incorporar estos nuevos recursos minerales en el régimen de la Convención de forma tal que proteja los valiosos organismos vivos que albergan.

II. Yacimientos masivos de sulfuros polimetálicos en los modernos fondos marinos y las posibilidades de recursos que ofrecen²

4. Desde 1979, se han hallado yacimientos masivos de sulfuros polimetálicos a profundidades en el océano hasta de 3.700 m en una diversidad de ambientes tectónicos en los modernos fondos marinos, inclusive cordilleras en mitad del océano, fisuras en la parte posterior de arcos y montes submarinos. Muchos de los yacimientos de sulfuros consisten en un complejo de chimenea negra sobre un montículo de sulfuro al cual suele hallarse subyacente una zona de filones entrecruzados. Se ha establecido fehacientemente que el agua de mar circulante que se modifica en una zona de reacción próxima a una cámara de magma subaxial es el principal portador de metales y azufre que se lixivian del basamento oceánico. La precipitación de sulfuros masivos y filonianos en el fondo marino y debajo de éste se produce en respuesta al mezclado de agua de mar hidrotérmica rica en metales a alta temperatura (hasta 400° C) con agua de mar a temperatura ambiente. Los yacimientos de sulfuros polimetálicos del fondo marino pueden alcanzar una magnitud considerable (hasta 100 millones de toneladas) y a menudo contienen altas concentraciones de cobre (calcopirita), cinc (esfalerita) y plomo (galena), además de oro y plata. Ha quedado claramente documentado que la composición mineralógica y química de los sulfuros masivos polimetálicos en las cordilleras en medio del océano dominadas por el basalto difiere de las de centros de expansión en la

parte posterior de arcos, que se asocian con rocas volcánicas más félsicas (dacita y riolita).

5. Estas últimas se parecen más a los grandes yacimientos de sulfuros que se explotan en tierra hoy en día, pero los cuales se formaron en un tiempo en centros de expansión de paleoocéanos. Recientemente se han hallado concentraciones sumamente grandes de oro (hasta 230 g/t, con un promedio de 26 g/t para 40 muestras analizadas) en un nuevo tipo de yacimiento de mineral del fondo marino situado en el cráter de un volcán extinto en las aguas territoriales de Papua Nueva Guinea. El estilo particular de mineralización y alteración tiene muchas semejanzas con los llamados “yacimientos de oro epitérmicos”, que hasta ahora sólo se conocían en los continentes. Además del agua de mar circulante, los fluidos magmáticos que contienen grandes concentraciones de oro parecen ser una fuente importante de metal y probablemente son responsables del marcado enriquecimiento en metal precioso. Es más probable que este tipo de mineralización exista en otros ambientes relacionados con arcos de los océanos mundiales. Debido a la gran concentración de metales ordinarios y preciosos, los yacimientos de sulfuros polimetálicos de los fondos marinos recientemente han atraído el interés del sector minero internacional. La recuperación de algunos de estos yacimientos parece ser a la vez económica y ecológicamente viable debido a ciertas ventajas sobre los yacimientos terrestres y probablemente se haga realidad dentro del presente decenio.

III. Cortezas de ferromanganeso con alto contenido de cobalto: geología, recursos y tecnologías³

6. Existen cortezas de hierro y manganeso con alto contenido de cobalto en distintas partes de los océanos mundiales, en montes submarinos, cordilleras y mesetas donde las corrientes han mantenido las rocas libres de sedimentos durante millones de años. Las cortezas precipitan de agua de mar fría del entorno sobre sustratos rocosos que forman pavimentos de hasta 250 mm de espesor. Las cortezas son importantes como posible fuente para la obtención, primordialmente, de cobalto, pero también de titanio, cerio, níquel, platino, manganeso, talio, telurio, tungsteno, bismuto, circonio y otros metales. Las cortezas se forman a profundidades de entre unos 400 y 4.000 m, presentándose las cortezas más espesas y más ricas en cobalto a profundidades de entre

unos 800 y 2.500 m. Procesos gravitacionales como deslizamientos, al igual que la cubierta de sedimento, los arrecifes sumergidos y emergentes y las corrientes influyen sobre la distribución y el espesor de las cortezas.

7. Las cortezas se presentan sobre una amplia variedad de rocas de sustrato, lo que hace difícil distinguir las cortezas del sustrato utilizando datos obtenidos por teleobservación, lo que es un aspecto importante en lo referente al desarrollo de tecnologías de exploración. Afortunadamente, las cortezas se pueden distinguir de los sustratos por sus niveles mucho mayores de radiación gama. Las propiedades físicas de las cortezas, como la gran porosidad media (60%) y la superficie media sumamente elevada (300 m²/g), al igual que sus tasas increíblemente lentas de crecimiento (1 a 6 mm por millón de años), coadyuvan a la adsorción de grandes cantidades de metales de importancia económica del agua de mar en la superficie de las cortezas.

8. Las cortezas se componen de los minerales vernadita (óxido de manganeso) y ferroxihita (óxido de hierro), con cantidades moderadas de fluoroapatita carbonatada en cortezas espesas y pequeñas cantidades de cuarzo y feldespato en la mayoría de las cortezas. Los elementos comúnmente absorbidos en la vernadita comprenden cobalto, níquel, cinc y talio, y en el óxido de hierro, cobre, plomo, titanio, molibdeno, arsénico, vanadio, tungsteno, circonio, bismuto y telurio.

9. Las cortezas en masa contienen leyes máximas de cobalto de hasta 1,7%, de níquel de hasta 1,1% y de platino de hasta 1,3 partes por millón (ppm). Leyes medias de cobalto de hasta 0,5 a 1% para grandes regiones de los océanos hacen de las cortezas la mena potencial de cobalto más rica existente, tanto en tierra como en el mar. Las concentraciones de cobalto, níquel, titanio y platino disminuyen, mientras que las de silicio y aluminio aumentan en las cortezas de las márgenes continentales y en cortezas muy próximas a arcos volcánicos del Pacífico occidental. Los elementos relacionados con la vernadita disminuyen, mientras que el hierro y el cobre aumentan al aumentar la profundidad del mar en los lugares donde se encuentran las cortezas. El cobalto, el cerio, el talio, el titanio, el plomo, el telurio y el platino se hallan en grandes concentraciones en las cortezas con respecto a otros metales, ya que se incorporan mediante reacciones de oxidación que producen compuestos más estables y menos móviles. La concentración total de lantánidos suele variar entre un 0,1% y un 0,3% y éstos se derivan del agua de

mar junto con otros elementos hidrogenéticos: cobalto, manganeso, níquel, etc. El cerio es un lantánido que se encuentra en grandes concentraciones en la corteza y ofrece importantes posibilidades económicas.

10. Los montes submarinos y las cordilleras en los que crecen las cortezas obstruyen el flujo de las masas de agua oceánicas, con lo que crean toda una variedad de corrientes causadas por los montes submarinos cuya energía por lo general es elevada en relación con los flujos a mayor distancia de dichos montes. Los efectos de estas corrientes son más intensos en el borde exterior de la región de las cumbres de los montes, la zona donde se hallan las cortezas más espesas. Estas corrientes peculiares de los montes submarinos también refuerzan mezclado turbulento y producen corrientes ascendentes, lo que aumenta la productividad primaria. Estos procesos físicos afectan a las comunidades biológicas que habitan los montes submarinos, que varían de un monte a otro. Las comunidades que habitan los montes submarinos se caracterizan por una densidad relativamente baja y escasa diversidad donde las cortezas son más espesas y ricas en cobalto. La composición de las comunidades que habitan los montes submarinos está determinada por las modalidades de las corrientes, la topografía, los sedimentos del fondo y los tipos y la cobertura de las rocas, el tamaño del monte submarino, la profundidad del océano y el tamaño y la magnitud de la zona con un mínimo de oxígeno. La documentación de los efectos ambientales exigirá una comprensión mucho mejor de los ecosistemas y las comunidades de los montes submarinos que la que existe actualmente.

11. Se han dedicado cerca de 40 cruceros de investigación al estudio de las cortezas ricas en cobalto, principalmente por parte de Alemania, China, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, Francia, el Japón y la República de Corea. El número estimado de 40 cruceros no incluye ciertos cruceros concluidos por la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (y más tarde la Federación de Rusia) y China, a cuyos datos el autor no tuvo acceso. Sin embargo, basándose en un número estimado de 42 cruceros de investigación entre 1981 y 2001, se sugiere que los gastos mínimos fueron de alrededor de 32 millones de dólares por buque y las operaciones científicas conexas relacionadas con el trabajo en el terreno, y 42 millones de dólares para investigaciones en tierra, con una inversión total de alrededor de 74 millones de dólares.

12. La investigación y el desarrollo sobre la tecnología para la explotación de cortezas apenas se hallan en pañales. No se dispone de mapas pormenorizados de yacimientos de cortezas ni de un conocimiento amplio de la topografía en pequeña escala de los montes submarinos, pero son necesarios para concebir las estrategias de explotación más apropiadas. Las operaciones típicas sobre el terreno para la exploración han sido la confección de mapas batimétricos SeaBeam y mapas derivados de retrodispersión y ángulo del talud, junto con perfiles sísmicos, que se utilizan en conjunto para seleccionar los lugares de muestreo. Para la labor de reconocimiento, se recogen 15 a 20 dragados y testigos por cada monte submarino. Luego, mediante exploración con cámara de vídeo se delinean los tipos y distribuciones de la corteza, las rocas y los sedimentos, al igual que el espesor de la corteza de ser posible. Estas actividades de exploración exigen el empleo de un buque de investigación grande y bien dotado, debido al gran número de balizas acústicas de exploración del fondo, los grandes equipos remolcados y el volumen de las muestras recogidas. Durante etapas avanzadas de exploración y proporciones peculiares del sitio, se sugiere utilizar sonar de barrido lateral remolcado a grandes profundidades, que incluya batimetría en fajas, y vehículos amarrados controlados a distancia para el levantamiento y la delineación de la topografía en pequeña escala. Se puede lograr una recogida amplia de muestras de yacimientos mediante dragado, extracción de testigos, vehículos controlados a distancia y un aparato para tomar muestras a cortos intervalos que aún no se ha elaborado. Los estudios de la radiación gama delinearán el espesor de la corteza y la existencia de cortezas bajo capas delgadas de sedimento. Se necesitarán medidores de corriente amarrados para reconocer el entorno del monte submarino y harán falta muestras y prospecciones biológicas.

13. Se han elaborado 12 criterios para la exploración y explotación de cortezas:

a) Criterios regionales

- i) Grandes edificios volcánicos de profundidad inferior a un valor de entre 1.000 y 1.500 m;
- ii) Edificios volcánicos de edad superior a los 20 millones de años;
- iii) Estructuras volcánicas no recubiertas por grandes atolones o arrecifes;

- iv) Zonas de corrientes de fondo fuertes y persistentes;
- v) Una zona con mínimo de oxígeno somera y bien desarrollada;
- vi) Zonas aisladas de aportes de derrubios fluviales y eólicos abundantes.

b) Criterios peculiares del sitio

- vii) Topografía en pequeña escala no acusada;
- viii) Terrazas, anticlinales y pasos de cumbres;
- ix) Estabilidad del talud;
- x) Ausencia de volcanismo local;
- xi) Leyes medias de cobalto $\geq 0,8\%$;
- xii) Espesor medio de la corteza ≥ 40 mm.

14. La explotación minera de cortezas es tecnológicamente más difícil que la explotación minera de nódulos de manganeso. La recuperación de los nódulos es relativamente fácil, debido a que están posados en un sustrato de sedimento blando, mientras que las cortezas están adheridas con mayor o menor fuerza a la roca de sustrato. Para explotar con éxito las cortezas, es indispensable recuperar las cortezas sin recoger roca de sustrato, lo que diluiría apreciablemente la ley de la mena. Las cinco posibles operaciones de explotación minera de la corteza comprenden fragmentación, trituración, elevación, recolección y separación. El método propuesto para la recuperación de la corteza consiste en un vehículo que se arrastra por el fondo conectado con un buque minero de superficie mediante un sistema de elevación por tubería hidráulica y un cordón umbilical eléctrico. La máquina extractora se propule por sí misma y viaja a una velocidad de alrededor de 20 cm/seg. El caudal de material para la hipótesis del caso de explotación básico es de 1 millón de toneladas por año. En esa hipótesis se supone una eficiencia de fragmentación del 80% y una dilución de la corteza con el sustrato del 25% como capacidad de operación minera razonable. Algunos sistemas nuevos e innovadores que se han propuesto para la explotación de cortezas comprenden barrido con chorro de agua de la corteza del sustrato, técnicas de lixiviación *in situ* y separación sónica de la corteza del sustrato. Estas sugerencias son prometedoras y deben desarrollarse en mayor detalle.

15. La importancia de los metales contenidos en las cortezas para la economía mundial se refleja en sus

modalidades de consumo. El manganeso, el cobalto y el níquel se utilizan primordialmente en la fabricación de acero, al que confieren características singulares. El cobalto también se utiliza en las industrias eléctrica, de comunicaciones, aeroespacial y de fabricación de máquinas y herramientas. El níquel se utiliza además en plantas químicas, refinerías de petróleo, artefactos eléctricos y vehículos automotores. El cobalto se obtiene como subproducto de la extracción de cobre y, en consecuencia, la oferta de cobalto está vinculada con la demanda de cobre. Esto también es válido para el teluro, que se obtiene como subproducto de la extracción de cobre y oro. Esta incertidumbre de la oferta ha hecho que la industria busque alternativas al cobalto y el teluro, lo que ha ocasionado un crecimiento solamente moderado de sus mercados durante el último decenio y, en consecuencia, precios relativamente bajos. Si se desarrollan fuentes optativas considerables de estos metales, habría mayor incentivo para reintroducirllos en productos y ampliar los mercados.

16. Recientemente se ha determinado que las cortezas contienen metales diferentes del manganeso, el cobalto, el níquel, el cobre y el platino que pueden ofrecer mayores incentivos para la recuperación. Por ejemplo, el titanio tiene el mayor valor después del cobalto, el cerio tiene mayor valor que el níquel, el circonio es equivalente al níquel y el teluro tiene casi el doble del valor del cobre. Este análisis supone que se puede desarrollar una metalurgia extractiva económica para cada uno de esos metales.

17. Basándose en la ley, el tonelaje y las condiciones oceanográficas, la región del Pacífico centro-ecuatorial ofrece las mejores posibilidades para la explotación de cortezas, especialmente la zona económica exclusiva de la Isla Johnston (Estados Unidos), las Islas Marshall y las aguas internacionales en las montañas de mitad del Pacífico, aunque también deberían considerarse las zonas económicas exclusivas de Kiribati, Micronesia (Estados Federados de) y la Polinesia Francesa.

18. Los suministros de los muchos metales que se hallan en las cortezas son indispensables para mantener la eficiencia de las sociedades industriales modernas y mejorar el nivel de vida en el siglo XXI. Se reconoce cada vez más que las cortezas con alto contenido de cobalto ofrecen importantes posibilidades como recursos. Conforme a ello, es necesario colmar las lagunas de información relativas a diversos aspectos de la explotación de las cortezas mediante investigación, exploración y desarrollo de la tecnología.

IV. La explotación de recursos minerales sulfurados y la fauna de los respiraderos hidrotérmicos⁴

19. Se han descrito más de 500 nuevas especies de animales de los respiraderos hidrotérmicos de los fondos abisales desde su descubrimiento en 1977. Los respiraderos de los fondos abisales tienen gran valor científico, pues contienen un gran número de especies endémicas y poco comunes y son refugio de parientes cercanos de antiguas formas de vida. Puesto que son entornos visualmente espectaculares y extremos, los ecosistemas de los respiraderos han inducido interés público generalizado y, por ende, son un recurso que se puede aprovechar para informar al público sobre los procesos terrestres y las formas en que trabajan los científicos. Actualmente no es posible predecir cuán rápidamente se pueden recuperar los sitios de respiraderos de explotaciones mineras. La maquinaria minera matará directamente a algunos organismos, mientras que otros en las cercanías corren el peligro de sofocación por el material que se decanta de los penachos de materia particulada. Los individuos que sobrevivan a estas perturbaciones estarían sujetos a un cambio radical del hábitat y los sitios explotados tendrían menor valor científico y educativo. Los campos de respiraderos de larga vida que albergan los yacimientos minerales más grandes probablemente sean los más ecológicamente estables y los que tengan la mayor diversidad biológica. Una concentración de actividades mineras en dichos sitios podría ocasionar efectos regionales en los procesos biológicos y en la abundancia de los organismos, hasta tal punto que se comprometería la supervivencia de ciertas especies.

20. La ordenación o protección de todos los sitios hidrotérmicos y rezumaderos marinos del mundo es un objetivo reñido con la realidad. En lugar de ello, los análisis deberían centrarse en los criterios para seleccionar sitios para la protección futura que revistan importancia crítica o sean especialmente sensibles a las perturbaciones, debido a su valor científico o educativo o su importancia para la supervivencia de especies.

Notas

⁴ Peter A. Rona, Instituto de Ciencias Marinas y Litorales, Universidad Rutgers, Nueva Jersey, Estados Unidos de América.

² Peter M. Herzig, Universidad de Minería y Tecnología de Freiberg, Alemania.

³ James R. Hein, Presidente de International Marine Minerals Society.

⁴ S. Kim Juniper, Universidad de Quebec en Montreal, Canadá.
