

Los nódulos polimetálicos de la Zona Económica Exclusiva de México.

Polymetallic Nodules in the Economic Exclusive Zone of México.

Arturo Carranza Edwards* y Leticia Rosales Hoz*

* Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito exterior s/n. Ciudad Universitaria. México, DF. 04510.

RESUMEN

Se analiza la importancia de los nódulos polimetálicos recolectados a bordo del B/O El Puma durante la Campaña Oceanográfica MIMAR II. Se hace énfasis en las concentraciones de cobre, níquel y cobalto, en nódulos superficiales y en nódulos sepultados de la Zona Económica Exclusiva de México (ZEE). Se observa que tanto los nódulos superficiales como los sepultados son más ricos en Cu, Ni y Co hacia la porción más extrema de la ZEE de México en el área comprendida entre la Fractura Clarion y la Fractura Clipperton, en profundidades cercanas a 4000 m. Estos incrementos en las concentraciones de los metales analizados pueden originarse por una menor tasa de sedimentación, debido a su lejanía del continente. La zona estudiada se encuentra en las inmediaciones de los sitios de solicitudes o denuncios presentados a las Naciones Unidas por diversos países. El número de denuncios se ha incrementado de manera acelerada en los últimos años, lo que hace suponer que en un futuro próximo se iniciará la extracción de los nódulos del piso oceánico.

Palabras clave: recursos minerales del mar, México, Océano Pacífico, nódulos polimetálicos.

ABSTRACT

The importance of polymetallic nodules collected on board of B/O El Puma during the Oceanographic Campaign MIMAR II is analyzed. The concentrations of copper, nickel and cobalt on superficial nodules and buried nodules from the Exclusive Economic Zone (ZEE) of México are emphasized. One observes that both, superficial and buried nodules, are richer in Cu, Ni and Co towards the extreme portion of the Mexican ZEE in the area between the Clarión Fracture and the Clipperton Fracture at depths close to 4000 m. These increments in the concentrations of analyzed metals may be originated from a lower sedimentation rate because of the large distance from the continent. The studied zone is found in the surroundings of the claimed sites by several countries to United Nations. Claimings number has increased aceleradtely in the last years and this suggests that, in the close future, the extraction of nodules from the oceanic floor will be started.

Key words: mineral resources of the sea, Mexico, Pacific Ocean, polymetallic nodules

INTRODUCCIÓN

Los nódulos polimetálicos que cubren grandes extensiones del piso oceánico profundo son recursos minerales de interés potencial. Durante la expedición del buque inglés H.M.S. Challenger, efectuada de 1872 a 1876, se extrajeron por primera vez, nódulos del piso

oceánico (Glasby 1977). Mero (1965), Kent (1980) y Cronan (1980) se encuentran entre los primeros científicos de los tiempos modernos que destacan el interés potencial de los nódulos de manganeso (denominados más recientemente como nódulos polimetálicos por contener diversos metales además del

manganeso y el hierro). Particularmente, es la suma de níquel, cobre y cobalto la que da a los nódulos un mayor interés económico. El origen de los nódulos polimetálicos de ambientes oceánicos se puede relacionar, de acuerdo con Glasby (1977), con procesos tales como hidrotermalismo, almirólisis y precipitación química. Los ambientes en que se ha reportado su presencia son principalmente: planicies abisales, cordilleras oceánicas, montes marinos, elevaciones topográficas marginales y bordes continentales. La presencia de los nódulos polimetálicos en el piso oceánico se encuentra asociada con bajas tasas de sedimentación, siendo común la sedimentación comprendida entre 1 y 3 milímetros por cada mil años (Horn *et al.* 1972).

Las formas y texturas de los nódulos pueden ser muy variables. De acuerdo con Meyer (1973), las formas de los nódulos pueden ser discoidales, esferoidales, elipsoidales y esferoidales irregulares. Sus texturas según el mismo autor pueden ser lisas, ásperas, muy lisas o con superficies tipo coliflor. La composición química de los nódulos está en función de la ubicación geográfica. Según Craig *et al.* (1988), la composición elemental promedio de los nódulos del Pacífico es de 19.3% de manganeso, 11.8% de hierro, 0.9% de níquel, 0.7% de cobre y 0.3% de cobalto. Al considerar la importancia potencial de los nódulos polimetálicos, el presente trabajo tiene como objetivo discutir sobre la composición e importancia estratégica de los nódulos colectados durante la Campaña Oceanográfica MIMAR II, efectuada en el Océano Pacífico, a bordo del B/O El Puma.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica entre los 21°41' y 16°22' de latitud norte y entre los 108°07' y 117°00' de longitud oeste (Figura 1). El área se dividió para su estudio en

tres regiones (A, B y C) y en ella las profundidades varían desde 2380 m, en la región A, hasta 3979 m en la región C (Carranza Edwards 1986). La región A y la porción oriental de la región B se encuentran dentro de las morfoestructuras del fondo oceánico denominadas por Lugo Hubp (1985) como Laderas y Superficies de Mesetas. La porción occidental de la región B corresponde con la planicie abisal con lomeríos y montañas. Finalmente, la región C se encuentra en la planicie abisal con lomeríos y montañas definida por Lugo Hubp (1985). El Archipiélago Revillagigedo queda incluido dentro de la extensa región B del presente estudio. La montmorilonita es el mineral arcilloso más ampliamente distribuido en los sedimentos próximos a la Dorsal del Pacífico Oriental (Lozano Santa Cruz *et al.* 1989).

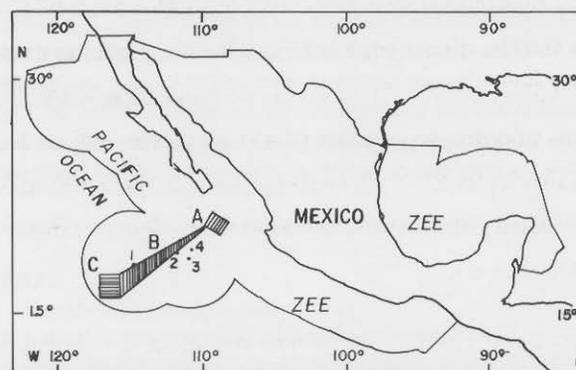


Figura 1. A) Dorsal del Pacífico Oriental. B) Laderas y superficies de mesetas y planicie abisal con lomeríos y montañas, C) Planicie abisal ondulada y con lomeríos. 1) Isla Clarión, 2) Isla Roca Partida, 3) Isla Socorro y 4) Isla San Benedicto.

MÉTODOS

Durante la Campaña Oceanográfica MIMAR II, efectuada a bordo del B/O El Puma, se efectuaron 46 estaciones de muestreo colectándose dentro de la ZEE del Pacífico Mexicano nódulos superficiales y nódulos

sepultados. Para ello, se utilizaron un nucleador de caja y un nucleador de gravedad. Los nódulos se analizaron por su contenido en metales (Mn, Fe, Ni, Cu y Co) en el Laboratorio de Química Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM. Para su análisis, los nódulos se molieron y homogenizaron. Los metales se extrajeron con bombas de digestión, en condiciones ácidas, con temperatura y presión elevada, siguiendo el método de Loring y Rantala (1977). Para los análisis de metales se usó un equipo de absorción atómica Varian, modelo 475.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con Rosales Hoz y Carranza Edwards (1990), los nódulos localizados en las regiones B y C de la ZEE de México contienen: Fe entre 4.5% y 13.4 %, manganeso entre 6.1% y 33.5%, cobre entre 0.16% y 0.82%, níquel entre 0.13% y 0.85% y cobalto entre 0.05% y 0.24%. El promedio de la relación Mn/Fe en los nódulos sepultados (3.47) es mayor que en los superficiales (2.99) lo cual sugiere a Carranza Edwards y Rosales Hoz (1994), un enriquecimiento diagenético del manganeso.

Dymond *et al.* (1984) han dividido los nódulos diagenéticos en diagenéticos óxicos y diagenéticos subóxicos. En el caso particular de la porción meridional de la región C, en la fosa llamada Depresión MIMAR por Carranza Edwards *et al.* (1987), se encuentran los nódulos más ricos en Mn, Ni y Cu (Rosales Hoz 1989). Como se puede observar en la Figura 2, los nódulos son más ricos en Mn en la región C, ya sean superficiales (Figura 2d) o sepultados (Figura 2f).

De acuerdo con Mero (1965) el manganeso, uno de los principales constituyentes de los nódulos, ingresa al océano por ríos, erupciones volcánicas submarinas, manantiales

submarinos y la descomposición de rocas y detritos volcánicos submarinos. La concentración promedio de Mn en los sedimentos de mar profundo es de 0.259% (Chester 1990), estando en promedio 77 veces más concentrado en los nódulos del Pacífico. El proceso de concentración de metales en los nódulos se ha discutido extensamente en la literatura, y ha dado lugar al planteamiento de tres hipótesis que explican su posible origen siendo válidas de forma sencilla o combinada: 1) abastecimiento directo de elementos del agua de mar, 2) ingreso de elementos por emanaciones ígneas y 3) movilización de elementos dentro de la columna de sedimentos y redepositación de estos elementos. No obstante, los mecanismos por los cuales se concentran los metales de interés económico (Cu, Ni y Co) aún no se conocen con precisión (IDOE, 1973).

Según Krauskopf (1956) la mayor parte del cinc, cobre, plomo, níquel, cobalto y molibdeno, se encuentran subsaturados en el agua de mar. En ensayos hechos por él, encuentra que el cobre, el cinc y el plomo se absorben más por distintos excavadores que los otros metales. Con excepción del plancton, todos los absorbentes que el trató reducen en pocas horas la concentración del cobre, el cinc y el plomo. De acuerdo con Mart *et al.* (1982) la concentración promedio de cobre en el agua de mar es menor que 0.3 µg/l. Se han reportado enriquecimientos de cobre en agua profunda, relacionados con actividad de organismos excavadores (Bruland, 1983). Las concentraciones de cobre encontradas en los nódulos sepultados del área de estudio es de 0.66% y en los superficiales 0.52% (Cuadros 1, 2). Con excepción de la plata, el cobre es el conductor eléctrico común más abundante (Scheinberg, 1991), tiene diversas aplicaciones pero se destaca su uso como conductor en aleaciones y en compuestos.

El níquel se encuentra en soluciones acuosas como hexaamoníquel, el cual se absorbe pobremente por la mayoría de los organismos vivos.

También es frecuente encontrarlo como óxidos o hidróxidos (Sunderman y Oskarsson 1991). Este metal es muy importante, pues se le usa en más de 3000 aleaciones metálicas y entre sus usos se le encuentra como utensilios de cocina, equipos resistentes a la corrosión, acuñamientos de monedas, procesados de alimentos, equipo petrolero y químico, aleaciones para magnetos, partes de aviones, turbinas de gas, motores jet, baterías, pigmentos y cerámica entre otros. El níquel llega al agua de manera natural por disolución de rocas y suelos y en ciclos biológicos. El níquel es soluble en pH menor que 6.5 y es insoluble en pH mayor que 6.7. De acuerdo con Bruland (1983), las concentraciones de níquel varían en agua de mar entre 0.1 y 0.5 $\mu\text{g/l}$. En la atmósfera puede entrar de manera natural a través de erupciones volcánicas, y también se puede concentrar por intemperismo de rocas y suelos (Sunderman y Oskarsson 1991). En los nódulos superficiales estudiados, la concentración promedio de níquel fue de 0.60% en la región B y de 0.68% en la región C. En ambas regiones son abundantes los aparatos volcánicos sumergidos (Lugo Hubp, 1985). Las concentraciones de níquel en los nódulos sepultados son ligeramente superiores (Cuadros 1, 2).

El promedio de cobalto en la corteza es de 18 ppm (Schrauzer, 1991). Al océano ingresan anualmente por vía fluvial unas 21,000 ton, y otra cantidad igual se deposita en los sedimentos de mar profundo, donde el contenido promedio es de 74 ppm (Turekian y Wedepohl, 1961).

Entre los múltiples usos del cobalto se puede citar su importancia en las superaleaciones utiliza-

das en partes críticas de motores jet, turbinas de gas y partes de máquinas que trabajan bajo esfuerzo en altas temperaturas. Al cobalto también se le usa en las estelitas que son aleaciones compuestas de 50% a 60% de cobalto, 30% a 40% de cromo y de 8% a 20% de tungsteno (Schrauzer, 1991). Los valores promedio de cobalto en nódulos superficiales de la región B fueron de 0.06% y en la región C se alcanzó un promedio de 0.13%. No se aprecian diferencias significativas para los promedios observados en nódulos sepultados de ambas regiones.

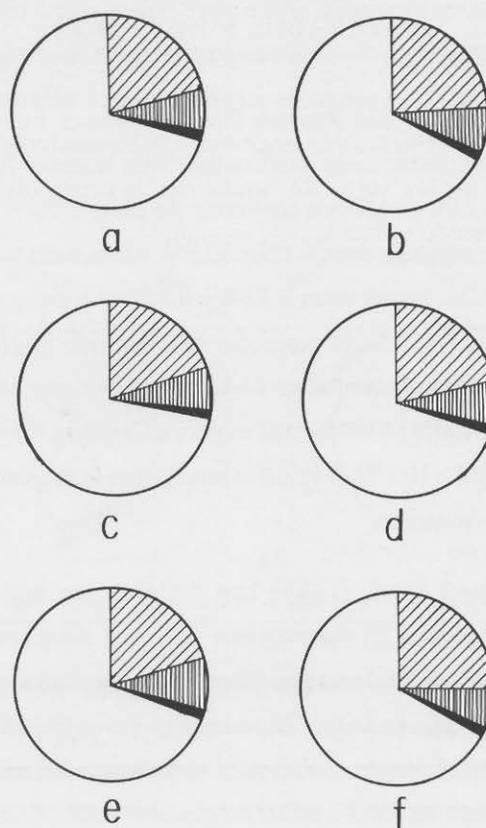


Figura 2. Composición de Mn, Fe, Cu, Ni y Co. Líneas inclinadas: Mn, líneas verticales: Fe y sector relleno: Cu+Ni+Co. a) nódulos superficiales de las regiones B y C, b) nódulos sepultados de las regiones B y C, c) nódulos superficiales de la región B, d) nódulos superficiales de la región C, e) nódulos sepultados de la región B y f) nódulos sepultados de la región C.

Respecto al eventual uso potencial y aprovechamiento de los nódulos polimetálicos, se destaca que los nódulos más ricos en metales se encuentran en el Océano Pacífico. En particular, la región más importante en nódulos polimetálicos, ricos en Cu+Ni+Co, se ubica entre dos grandes fracturas del piso oceánico, éstas son, la Fractura Clarion y la Fractura Clipperton. Otras fracturas similares existen en el Océano Pacífico pero los valores más importantes de cobre, níquel y cobalto se encuentran entre las ya citadas. Aparentemente, la baja tasa de sedimentación y las zonas ricas en plancton juegan un papel muy importante (Horn *et al.* 1972), ésto es, los organismos pueden actuar como concentradores y una vez muertos van al fondo donde finalmente se disuelven y enriquecen las aguas de fondo las cuales, según las variaciones en el pH, estarán disolviendo y precipitando metales.

Para dar una idea del reciente interés que se ha tenido en la exploración y en la eventual explotación de los nódulos, se presenta la Figura 3 en la cual aparece la situación relativa a registros de consorcios interesados en la explotación de nódulos que se tenía de acuerdo con Pontecorvo para 1986 (polígonos marcados por la línea discontinua 1). Si se compara con la situación existente para al año de 1994 (Shiqin 1994), se puede apreciar (ver polígonos marcados con la línea continua 2) como ha crecido en menos de dos décadas el interés por los ricos campos de nódulos del Pacífico. Es importante notar que la porción sur de la región C se ubica precisamente dentro del tren definido por las áreas de interés lo cual coloca a México en una posición relativamente favorable.

	M n	F e	C u	N i	C o
Región B (n=7)					
Promedio	20.18	6.85	0.45	0.60	0.06
Desviación estándar	2.81	2.79	0.19	0.17	0.02
Región C (n=10)					
Promedio	21.57	7.14	0.57	0.68	0.13
Desviación estándar	7.28	2.80	0.18	0.19	0.06
Total (n=17)					
Promedio	21.00	7.02	0.52	0.65	0.10
Desviación estándar	5.91	2.80	0.19	0.19	0.06

Cuadro 1. Composición de metales en nódulos superficiales (%).

Cuadro 2. Composición de metales en nódulos sepultados (%).

	M n	F e	C u	N i	C o	Profundidad (cm)
Región B (n=5)						
Promedio	20.54	8.46	0.46	0.63	0.07	108
Desviación estándar	2.08	1.16	0.08	0.07	0.03	
Región C (n=16)						
Promedio	25.37	6.53	0.72	0.72	0.13	79
Desviación estándar	5.66	1.67	0.12	0.13	0.05	
Total (n=21)						
Promedio	24.22	6.99	0.66	0.70	0.12	86
Desviación estándar	5.45	1.77	0.16	0.12	0.05	

Cuadro 2. Composición de metales en nódulos sepultados (%).

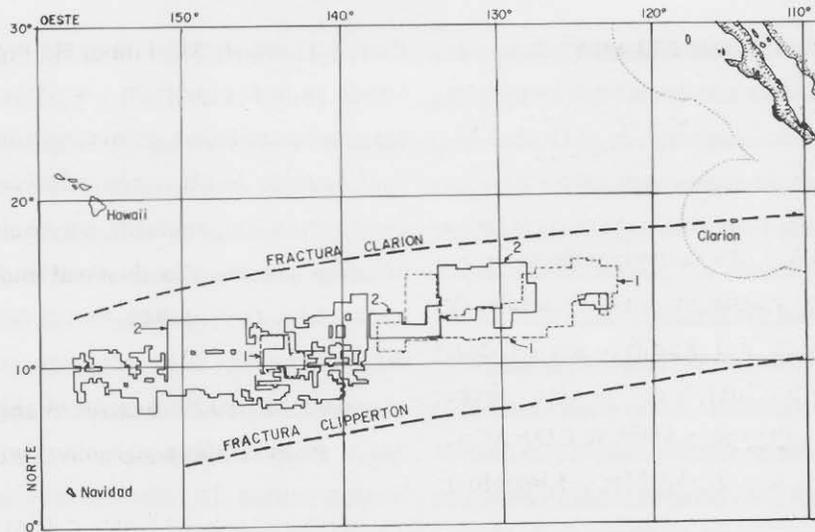


Figura 3. 1) En línea discontinua se presentan las áreas registradas por diversos consorcios internacionales (modificado de Pontecorvo 1986). 2) En línea continua se agrupan las áreas reservadas para la Autoridad, las áreas cedidas para solicitantes potenciales y las áreas asignadas a inversionistas pioneros (modificado de Shiqin 1994). La línea punteada representa el límite de la Zona Económica Exclusiva de México.

Previo a cualquier intento de explotación, por cualquier nación, además de considerarse aspectos técnicos, políticos y económicos, se deben tomar en cuenta los aspectos ambientales por el impacto que se puede generar por la remoción del lecho marino. No debe olvidarse que se trata de sitios en los cuales se tienen bajas tasas de sedimentación y los sedimentos que se han acumulado lentamente podrían removerse en cuestión de horas con consecuencias ambientales impredecibles.

CONCLUSIONES

Los valores de cobre, níquel y cobalto observados en nódulos polimetálicos de la ZEE de México son de interés económico potencial. Las concentraciones de dichos metales es ligeramente mayor en la región C que en la B lo cual permite inferir que, a medida que la distancia al continente aumenta, también se incrementa el contenido de Cu, Ni y Co, originado posiblemente por tasas de sedimentación menores, las cuales favorecen el enriquecimiento de metales en los nódulos.

En los nódulos sepultados el comportamiento resulta similar. Por otro lado, el número de solicitudes para la exploración y eventual explotación de nódulos polimetálicos se ha incrementado de manera notable lo que demuestra la gran importancia que día con día adquieren los nódulos polimetálicos. Su eventual explotación posiblemente se de a inicios del presente siglo, cuando las condiciones de mercado así lo justifiquen. La extracción de nódulos polimetálicos del piso oceánico debe garantizar que el ambiente marino no se vea afectado.

AGRADECIMIENTOS

Por las facilidades brindadas se agradece a las autoridades de las siguientes instituciones: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, Instituto de Geología UNAM, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Secretaría de Marina-Armada de México y Consejo de Recursos Minerales. A la QFB Susana Santiago Pérez y al M. en C. Eduardo Morales de la Garza se les agradece el apoyo brindado durante la elaboración del presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Bruland K.W. 1983. Trace elements in sea water. *Chemical Oceanography* 8: 205-208.
- Carranza Edwards A. 1986. Investigación sobre origen, procesos y distribución de minerales del piso oceánico del Pacífico en la Zona Económica Exclusiva de México. Tercer informe del Proyecto UNAM-CONACyT. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM. México, DF (inédito).
- Carranza Edwards A., Márquez García A.Z. y Morales de la Garza E.A. 1987. Distribución y características físicas externas de nódulos polimetálicos en el sector central del Pacífico mexicano. *Boletín de Mineralogía* 3(1): 78-94.
- Carranza Edwards A. y Rosales Hoz L. 1994. Importancia de los recursos minerales marinos de la región. pp 33-42. En: Ortega Rubio A. y Castellanos Vera A. (eds). *La Isla Socorro, Reserva de la Biósfera, Archipiélago Revillagigedo*. Publicación 8. Centro de Investigaciones Biológicas. La Paz, BCS.
- Chester R. 1990. *Marine geochemistry*. Unwyn Hyman. London.
- Craig. J.R., Vaughan D.J. y Skinner B.J. 1988. *Resources of the earth*. Prentice-Hall. New Jersey, NJ.
- Cronan D.S. 1980. *Underwater minerals*. Academic Press. London.
- Dymond J., Lyle M., Finney B., Piper D.Z., Murphy K., Conard R. y Pisias N. 1984. Ferromanganese nodules from MANOP sites H, S, and R. Control of mineralogical and chemical composition by multiple accretionary processes. *Geochemical and Cosmochemical Acta* 48: 931-949.
- Glasby G.P. 1977. *Marine manganese deposits*. Elsevier Oceanography Series. Amsterdam.
- Horn D.R., Ewing M., Horn B.M. y Delach M.N. 1972. World wide distribution of ferromanganese deposits in the world ocean. *Ocean Industry* 7: 26-29.
- IDOE. 1973. Interuniversity program of research on ferromanganese deposits of the ocean floor. Phase I report. Sponsored by Seabed Assessment Program, International Decade of Ocean Exploration, National Science Foundation Washington, DC.
- Kent S.P. 1980. *Minerals from the marine environment*. Edwards Arnold. London.
- Krauskopf K.B. 1956. Separation of manganese from iron in sedimentary processes. *Geochemical and Cosmochemical Acta* 9: 1-32.
- Loring D.H. y Rantala R.T.T. 1977. *Geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter*. Technical Report 700. Fisheries and Marine Service, Environment. Ontario.

- Lozano Santa Cruz R., Altuzar Coello P., Carranza Edwards A. y Rosales Hoz L. 1989. Distribución de minerales en la fracción arcillosa de sedimentos del Pacífico Central Mexicano. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM* 16(2): 321-330.
- Lugo Hubp J. 1985. Morfoestructuras del fondo oceánico mexicano. *Boletín 15. Instituto de Geografía UNAM. México, DF.*
- Mart L., Rützel H., Klahre P., Platzek U., Valenta P. y Nurnberg H.W. 1982. Comparative studies on the distribution of heavy metals in the oceans and coastal waters. *The Science of the Total Environment* 26: 1-17.
- Mero J.L. 1965. *The mineral resources of the sea.* Elsevier. Nueva York, NY.
- Meyer K. 1973. Surface sediment and manganese nodules facies encountered on R/V Valdivia cruises 1971/1973. pp 125-130. En: Morgenstein M. (ed). *Papers on the origin and distribution of manganese nodules in the Pacific and prospects for exploration.* Hawaii Institute of Geophysics. Honolulu, HI.
- Pontecorvo G. 1986. *The new order of the oceans.* Columbia University Press. Nueva York, NY.
- Rosales Hoz L. 1989. Investigación sobre origen, procesos y distribución de nódulos polimetálicos en una porción del Pacífico Central Mexicano. Tesis doctoral. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM y Colegio de Ciencias y Humanidades UNAM. México, DF.
- Rosales Hoz L. y Carranza Edwards A. 1990. Polymetallic nodule study from the oceanic area near Clarion Island, Mexico. *Marine Mining* 9:355-364.
- Shiqin G. 1994. Chinese activities in the deep seabed mining. China Ocean Mineral Resources, Research and Development Association. 25th Annual Underwater Mining Institute. Monterey Bay, CA.
- Scheinberg I.H. 1991. Copper. pp 893-908. En: Merian E. (ed). *Metals and their compounds in the environment.* VCH. Weinheim.
- Schrauzer G.N. 1991. Cobalt. pp 879-892. En: Merian E. (ed). *Metals and their compounds in the environment.* VCH. Weinheim.
- Sunderman Jr. F.W. y Oskarsson A. 1991. Nickel. pp 1101-1126. En: Merian E. (ed). *Metals and their compounds in the environment.* VCH. Weinheim.
- Turekian K.K. y Wedepohl K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Bulletin of the Society of Geology of America.* 72 (2): 175-191.