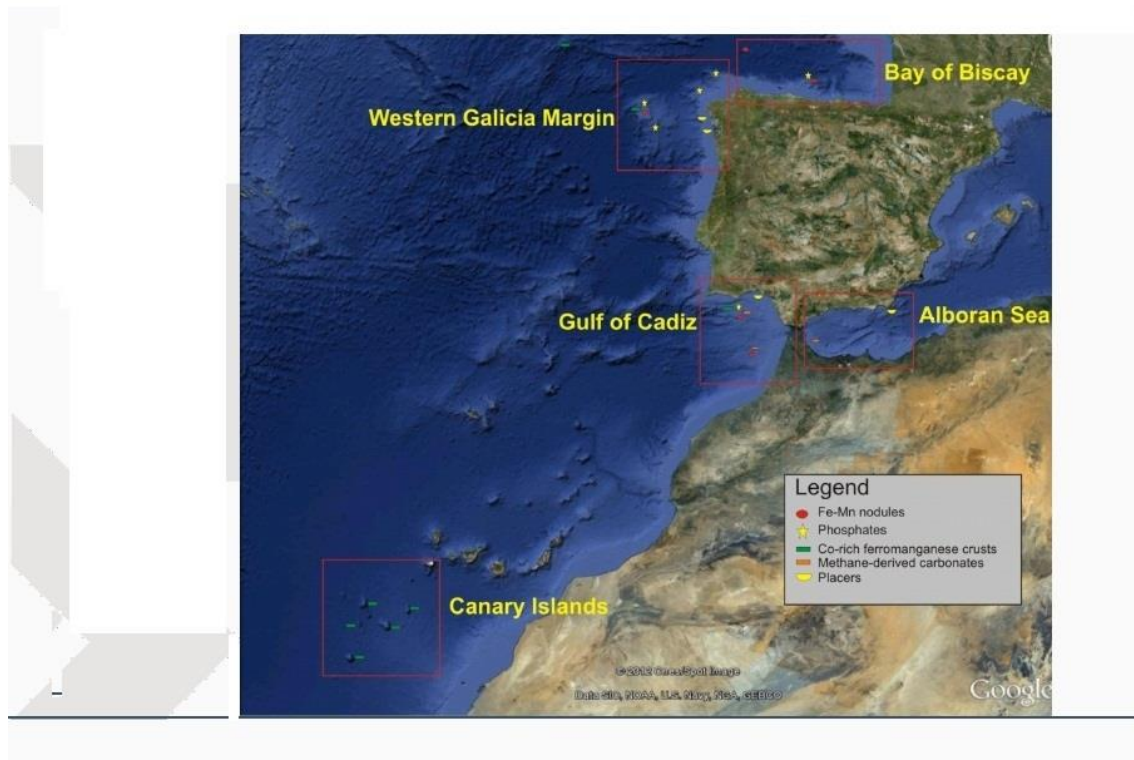


Depósitos submarinos de hierro-manganeso en el Banco de Galicia, el Golfo de Cádiz y en los montes submarinos próximos a las Islas Canarias

Submarine deposits of iron-manganese in the Bank of Galicia, the Gulf of Cádiz and in the seamounts near the Canary Islands



Recursos minerales en los márgenes continentes de España. IGME, 2016.

Trabajo de Fin de Grado

Pedro José Aragón Martín

Tutorizado por Agustina Ahijado Quintillán. Grado en Biología.

Universidad de La Laguna. Marzo 2019.

RESUMEN

Los depósitos minerales submarinos de nódulos de manganeso y costras de ferromanganeso encontrados por distintas expediciones en las Islas Canarias, el Golfo de Cádiz y el Banco de Galicia representan reservas importantes de fuentes de hierro, manganeso, telurio, vanadio y cobalto para diferentes industrias. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue realizar una revisión bibliográfica sobre la génesis, distribución, composición y potencial económico de los depósitos localizados en las tres regiones para su comparación y análisis. Concluyendo que los nódulos de manganeso y de las costras de ferromanganeso difieren especialmente en su forma y su génesis, pero son similares en su composición geoquímica y mineralógica. Las costras de ferromanganeso de las Islas Canarias y Galicia tienen especial interés, debido a la presencia de titanio, mientras en el Golfo de Cádiz son más relevantes las chimeneas carbonatadas. Desde la perspectiva de la economía y el desarrollo de nuevas tecnologías, la explotación y extracción de estos recursos minerales resulta beneficioso para el país, pues permiten entrada de dinero, avances tecnológicos y respuestas a necesidades de tipo social. Sin embargo, su extracción tiene un coste e impacto en el medio ambiente y por ello debe realizarse tomando las precauciones necesarias.

Palabras claves: Nódulos de manganeso, costras de ferromanganeso, depósitos submarinos, minerales submarinos, Islas Canarias, Golfo de Cádiz, Banco de Galicia.

ABSTRACT

Underwater mineral deposits of manganese nodules and ferromanganese crusts found by different expeditions in the Canary Islands, the Gulf of Cadiz and the Bank of Galicia represent important reserves of sources of iron, manganese, tellurium, vanadium and cobalt to be used in different industries. That is why the objective of this work has been to conduct a literature review on the genesis, distribution, composition and economic potential of deposits located in the three regions in order to compare and analyze them. In conclusion, the manganese nodules and the ferromanganese crusts differ especially in their shape and genesis, but they are similar in their geochemical and mineralogical composition. The Canary Islands and Galicia have special interest in ferromanganese crusts due to titanium, while carbonated chimneys are more relevant in the Gulf of Cádiz. From the perspective of the economy and the development of new technologies, the exploitation and extraction of these mineral resources is beneficial for the country, because it allows money entries, technological advances and responses to social needs. However, its extraction has a cost and impact on the environment and, therefore, must be carried out taking the due precautions.

Keywords: Manganese nodules, ferromanganese crusts, underwater deposits, underwater minerals, Canary Islands, Gulf of Cádiz, Bank of Galicia.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos	6
2. DISCUSIÓN	7
2.1. Principales tipos de depósitos submarinos y sus principales características	7
2.2. Nódulos y costras de manganeso	9
2.2.1. Nódulos de manganeso.....	9
2.2.2. Costras de ferromanganeso	11
2.3. Montes submarinos de las Islas Canarias	12
2.3.1. Nódulos de manganeso.....	13
2.3.2. Costras de ferromanganeso	14
2.3.3. Otros minerales	16
2.4. Golfo de Cádiz	17
2.4.1. Nódulos de manganeso.....	18
2.5. Banco de Galicia	19
2.5.1. Nódulos de manganeso.....	20
2.5.2. Costras de Fe-Mn y cortezas	21
2.5.3. Otros minerales	21
2.6. Comparación de los tres lugares y tablas	21
3. CONCLUSIONES	27
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Depósitos de nódulos de manganeso encontrados en las regiones de las Islas Canarias, el Golfo de Cádiz y el Banco de Galicia. Fuente: Elaboración propia.....	22
Tabla 2. Depósitos de costras de ferromanganeso encontrados en las regiones de las Islas Canarias, el Golfo de Cádiz y el Banco de Galicia. Fuente: Elaboración propia.....	24
Figura 1. Provincia de los principales montes submarinos de las Islas Canarias. Fuente: IGME y Proyecto EMODnet Geology	14
Figura 2. Comparación de la concentración de los elementos estratégicos de las costras de ferromanganeso en los montes submarinos canarios y otros depósitos submarinos del mundo. Fuente: IGME, modificado de Marino et al., 2016	15
Figura 3. Costras de ferromanganeso de los montes submarinos del sur de las Islas Canarias analizadas en la campaña DRAGO 2011. Fuente: IGME	16
Figura 4. Nódulos de Mn, nódulos de Mn ricos en cobalto, nódulos ricos en Fe y fosforita encontrados en el Banco de Galicia. Fuente: González et al., 2016.....	20

1. INTRODUCCIÓN

La Tierra está cubierta en sus tres cuartas partes por los océanos en cuyas profundidades, más allá de los 2.000 metros, se encuentran elevaciones topográficas denominadas montes submarinos. Su estudio se ha venido realizando desde hace años, pero los mayores conocimientos acerca del mismo se han obtenido en fechas recientes.

De esta manera, Núñez-Useche y Barragán (2013) han dado a conocer que las cuencas oceánicas se clasifican de acuerdo a sus características fisiográficas, a los procesos oceanográficos químicos y a los sedimentos que poseen, lo que ha originado una división en dos grupos: los márgenes continentales y las cuencas oceánicas profundas, esta última se divide en los montes submarinos y en las dorsales centro-oceánicas. La composición y textura de los montes submarinos son de gran interés para esta investigación, pues allí se encuentran los depósitos submarinos minerales que son el centro de este estudio.

Los depósitos submarinos se forman a partir del agua del océano. Esta agua es en principio alcalina, pero en su composición química influyen una gran variedad de mecanismos de transporte de partículas desde su fuente continental y también, las soluciones hidrotermales que circulan en el fondo del mar (Somoza y González, 2011).

Una vez sumergidas todas las partículas y diversos materiales que transporta el agua, se convierten con el transcurso del tiempo en sólidos, mediante procesos químicos donde se dan mecanismos de entrada y eliminación de biogeoquímicos (Somoza y González, 2011). Es por esto, que en el fondo marino se encuentran diferentes hidrocarburos y depósitos minerales (Marino et al, 2016).

En los montes submarinos, específicamente en las cimas y flancos, se asientan los depósitos de nódulos y costras de Fe-Mn, fosforitas y sulfuros, los cuales tienen altos contenidos de elementos como: Ni, Cu, Ti, V, Co y elementos del grupo del platino (Hein et al., 2013).

Los depósitos submarinos minerales de hierro-manganeso se descubrieron en 1868 en el fondo marino del Mar de Kara, ubicado en el océano Glacial Ártico. Años más tarde, en la expedición de la fragata *Challenger* (1873-1876) descubrieron la existencia de ese tipo de depósitos en otros mares y océanos, más concretamente en el suroeste de una de las isla de Canarias, a la cual denominaron El Hierro y el material encontrado fue nombrado como nódulos de manganeso. A finales del siglo XX, John Mero (1965) fue

el primero en manifestar la posibilidad de tener en consideración los nódulos de ferromanganeso como recursos potenciales, debido a su contenido de manganeso, cobre, níquel y cobalto, metales de gran interés para la industria.

En cuanto a los sulfuros polimetálicos, estos fueron descubiertos en 1948 durante la campaña oceanográfica sueca *Albatross* llevada a cabo en el Mar Rojo. En esta expedición se encontraron depósitos minerales que se crearon por salmueras en grietas del fondo marino, promovidas por la intensa actividad hidrotermal (Marino et al. 2016).

Gracias a una gran cantidad de campañas oceanográficas efectuadas por diferentes países en mares y océanos, con el empleo de técnicas geofísicas de reflexión, tecnología de sonar multihaz, dragado mecánico de muestras de fondo, vehículos no tripulados que permiten grabar vídeos y tomar fotografías y muestras, se ha logrado la localización de estos yacimientos.

Por tanto, este trabajo de revisión bibliográfica se centrará en el análisis de la literatura específica de los depósitos submarinos de hierro-manganeso, haciendo especial hincapié en los que se encuentran localizados en el Banco de Galicia, el Golfo de Cádiz y en los montes submarinos próximos a las Islas Canarias.

1.1. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es la revisión bibliográfica de los diferentes tipos de depósitos submarinos de hierro-manganeso estudiando su génesis, distribución, composición y su potencial económico. Se analizarán en detalle los depósitos localizados en el Banco de Galicia, en el Golfo de Cádiz y en los montes submarinos próximos a las Islas Canarias.

- Identificar los tipos y características de los depósitos submarinos.
- Conocer y comparar los depósitos submarinos de nódulos y costras de Fe-Mn en el Golfo de Cádiz, el Banco de Galicia y los montes submarinos próximos a las Islas Canarias.
- Determinar la importancia económica de los depósitos submarinos de nódulos y costras de Fe-Mn en el Golfo de Cádiz, el Banco de Galicia y los montes submarinos próximos a las Islas Canarias.

2. DISCUSIÓN

2.1. Principales tipos de depósitos submarinos y sus principales características

En el suelo marino se encuentran diversos depósitos de minerales y de recursos energéticos, entre los cuales se encuentran los que se presentan a continuación (Hein et al., 2013; Marins y De Sousa, 2010):

- ✓ Arenas y grava (depósitos detríticos siliciclásticos) que se utilizan como áridos. Los áridos se encuentran en el grupo de los minerales industriales, y representan un importante material de construcción.
- ✓ Carbonato de calcio (depósitos bioclásticos). Es común en las plataformas continentales en los arrecifes de coral y se explota generalmente como capas de conchas que se incluyen en la elaboración de cemento.
- ✓ Los placeres son depósitos sedimentarios clásticos que se crearon por la acumulación natural de minerales detríticos pesados. Entre ellos, se encuentran los diamantes y el oro. Aparecen en la costa y en la plataforma interna.
- ✓ Las fosforitas están compuestas por fosfato, carbonato, y principalmente fluorapatito carbonático o francolita. Suelen encontrarse en las bases de las costras o sustituyendo dentro de ellas, a una parte de manganeso o a los óxidos de hierro, pero también pueden crear los núcleos en cuyo alrededor crecen los nódulos de manganeso. Generalmente, aparecen en los márgenes de la plataforma continental y se emplean como fertilizantes en agricultura, a pesar de que contienen importantes concentraciones de uranio, flúor y vanadio.
- ✓ Costras cobaltíferas. Se trata de costras de ferromanganeso que contienen altos niveles de cobalto. Hasta el momento, los mejores depósitos encontrados se ubican en el centro y en el este del océano Pacífico, así como también en el océano Índico. Generalmente, se les asocia a las costras polimetálicas.
- ✓ Sulfuros polimetálicos. Se forman por la dispersión de fluidos hidrotermales a altas temperaturas (Marino et al., 2016). Los depósitos son aproximadamente cilíndricos, presentan de 3 a 10 m de altura con 5 m de diámetro y colores variados: ocre, ceniza, marrón y rojo. Muestras recolectadas revelan la presencia de sulfuros de hierro, cinc y cobre en grandes concentraciones.

- ✓ Baritina o barita (BaSO_4). Se encuentran en el 1% en los sedimentos de aguas profundas, siendo éstas más ricas en barita que los depósitos de taludes. Su incorporación a los océanos proviene en un 20% de las fuentes hidrotermales y en un 80% a través de los ríos (Mukherjee, 2011).
- ✓ Granate. Diferentes proyectos han citado la presencia de granate metasomático en sedimentos (Mukherjee, 2011).
- ✓ Glauconita. Es un silicato hidratado de potasio, hierro y aluminio que puede ser encontrado en los márgenes continentales. Se utiliza como fuente de potasio para fertilizantes.
- ✓ Lodos orgánicos. Suelen asociarse a distintas regiones costeras producto de la erosión de áreas continentales adyacentes, en pequeñas cuencas. Algunos autores han manifestado que pueden ser utilizados como fertilizantes.
- ✓ Sal marina, utilizada fundamentalmente para consumo alimentario.
- ✓ Azufre, generalmente asociado a las cuencas que albergan hidrocarburos.
- ✓ Los nódulos polimetálicos, denominados también como nódulos de manganeso, debido a que predominan en ellos este metal en su composición, son acumulaciones de roca creadas por capas concéntricas de hidróxidos de hierro y manganeso que se desarrollan alrededor de un núcleo, el cual puede ser: microfósiles silíceos, una fracción de roca volcánica, un diente de tiburón, e incluso, un pedazo de nódulo previamente formado. Su tamaño puede ser diverso oscilando entre partículas microscópicas y nódulos con más de 20 centímetros.
- ✓ El cuarzo y la dolomita se muestran en granos de origen detrítico subangulosos a angulosos (González et al., 2006).
- ✓ Minerales considerados de origen autigénico como son: pirita, goethita, calcopirita, lepidocrocita, calcita, jianshuita, birnessita y kut-nohorita. En su síntesis probablemente participaron diferentes grupos de microorganismos (González et al., 2006).
- ✓ Hidrocarburos, tales como petróleo, gas e hidratos de metano. Los hidratos de metano naturales son depósitos de compuestos sólidos de gas y agua solidificada

que surgen vinculados a los sedimentos marinos que se encuentran en los márgenes continentales de todos los océanos.

2.2. Nódulos y costras de manganeso

Los diferentes tipos de mineralización se derivan de las condiciones ambientales regionales y oceanográficas, tales como la presencia de volcanes, las corrientes marinas, la salinidad del agua, así como el tipo de sedimentación que arrastran los vientos y los ríos hacia los montes submarinos, por ejemplo las costras de ferromanganeso necesitan de sedimentaciones bajas o nulas. Dependiendo de estas características los nódulos y costras pueden formarse mediante tres procesos diferentes: diagénesis cuando se forman a través de la cementación o compactación de sedimentos debido a la presión o temperaturas bajas; hidrogénesis cuando su formación proviene de precipitaciones de minerales que contiene el agua del mar e hidrometal cuando la formación viene dada por la unión de hidrógeno y metales provenientes de la actividad magmática del océano. También pueden existir nódulos de formación mixta.

2.2.1. Nódulos de manganeso

El crecimiento de estos nódulos es uno de los más lentos de todos los fenómenos geológicos (algunos milímetros por años), y se encuentran enterrados en los sedimentos del fondo marino. Aparecen a cualquier profundidad en zonas donde las tasas de sedimentación marina no son muy altas, ya que el crecimiento de los nódulos se ve inhibido e, incluso, impedido cuando son enterrados en los sedimentos (INDEMARES, 2014).

Estos nódulos de manganeso tienen diferentes densidades, tamaños, morfologías y pesos. Las estructuras más características son las de texturas laminar, detrítica, moteada-dendrítica y masiva (González, 2008), tienen el tamaño de una pelota de tenis y se ubican en sedimentos en las planicies abisales que cubren aproximadamente el 80% de la cuenca oceánica con profundidades de agua típicas de 5 km. Dada a la cantidad de manganeso y hierro que contienen estos nódulos, son denominados muchas veces como nódulos de ferromanganeso (Mukherjee, 2011).

Gran parte de ellos tienen naturaleza autigénica, pero hay otros que son detríticos. Las texturas tipo biofilm, de posible origen bacteriano, son comunes en sulfuros, oxihidróxidos, y carbonatos. En líneas generales, la estructura interna de los nódulos está compuesta por un núcleo de naturaleza rugosa, tamaño centimétrico y forma tabular, y las envueltas que lo rodean. Aparecen comúnmente impregnados por óxidos (González, 2008).

- **Génesis**

En su mayoría, los nódulos de manganeso son diagenéticos (Bau et al., 2014), se originan de la precipitación mineral de fluidos intrasedimentarios durante la compactación y litificación de sedimentos, pero también existen nódulos que tienen un origen mixto, fundamentalmente hidrotermal-hidrogenético o hidrogenético-diagenético. Esto viene determinado por las dos fuentes de las que provienen sus metales: se disuelven por desgaste de las rocas en los continentes y son transportados por los ríos al océano. También, provienen de fuentes termales en lugares ubicados en los límites de placas sumergidas que liberan cantidades de cobre, cobalto, níquel manganeso, cobalto y hierro, que serán variables de acuerdo a las distintas regiones del océano en referencia a la proximidad de las fuentes y los procesos de concentración. Principalmente, se forman en sucesivas capas milimétricas de oxihidróxidos de Fe-Mn, concéntricas y cuando están bien resguardados, se encuentran dispuestas alrededor de los núcleos compuestos de carbonatos tipo siderita-rodocrosita (Mukherjee, 2011).

- **Distribución**

Este tipo de minerales se encuentran en el lecho marítimo de los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. En este último, se localizan la mayor cantidad de nódulos y los que contienen mayores concentraciones de minerales (Cronan, 2000).

- **Composición**

Los componentes fundamentales de los nódulos son Si, Ca, Mg, As, V, Co y Ni, que presentan valores medios de la corteza terrestre y en su interior contienen hidrocarburos. También, se encuentran en ellos cuarzo y filosilicatos y ocasionalmente contienen óxidos, carbonatos, sulfuros y sulfatos como minerales accesorios. Tienen pocas tierras raras y metales traza, pero poseen hierro Fe (38.6%) y en menor medida Mn (6%), en referencia a la media de los nódulos oceánicos (González, 2008).

- **Potencial económico**

Los nódulos, además de contener hierro y óxidos de manganeso, también contienen en proporciones diferentes elementos valiosos como el cobalto, níquel, oro, la plata, platino o tierras raras, en concentraciones superiores a las encontradas en las explotaciones mineras de tierra firme entre dos y tres veces (Somoza y González, 2011), por ello son de alto valor económico y son considerados depósitos de recursos minerales potencialmente estratégicos (SEMARNAT-INE, 2014).

2.2.2. Costras de ferromanganeso

Las costras de ferromanganeso hidrogenadas (cortezas de Fe-Mn) son cuerpos porosos de color castaño oscuro o negruzco, de forma esférica y de tamaño y peso variables (Somoza y González, 2011), que se disponen como bandas sobre la superficie del fondo marino.

El grosor de las costras depende del tiempo de crecimiento de éstas y de la velocidad con la que se han aglomerado los óxidos polimetálicos, siendo la medida promedio de las mismas los 2,5 mm, aunque pueden alcanzar los 250 mm. Su superficie externa presenta texturas botroidales (arriñonadas), mientras que en su interior se observan texturas laminadas, masivas, columnares y botroidales. Además, tienen una porosidad del 60% que permiten que absorban una gran cantidad de minerales (Cronan, 2000).

- **Génesis**

Las costras hidrogenéticas de Fe-Mn se generan durante períodos de inactividad volcánica, cuando la sedimentación es muy baja o nula y los montes submarinos entran en contacto con grandes cantidades de agua oceánica. Por esta razón, se extienden en todo el océano en crestas, mesetas y montes submarinos en donde las rocas se encuentran libres de sedimentos debido a las corrientes durante millones de años (Hein et al., 2000). Al igual que los nódulos de ferromanganeso, las costras tienen un origen mixto, fundamentalmente hidrotermal-hidrogenético o hidrogenético-diagenético, (Baturin y Drovetsova, 2014).

- **Distribución**

Las costras de ferromanganeso se encuentran mayormente a profundidades entre 4000 y 6000 metros, en las llanuras abisales de los océanos que se localizan entre las dorsales oceánicas en donde hay una intensa actividad sísmica y volcánica, y las zonas de falla transformantes, que unen dos segmentos de una dorsal centro-oceánica (Somoza y González, 2011).

- **Composición**

Las costras de ferromanganeso están compuestas de venadita e hidróxidos de Fe amorfos, así como cantidades significativas de metales como, Ni, Cu, Co, Mo y, en menor proporción, Zn, Ti, Pb, REE, Pt, As. Además, se han encontrado minerales como cuarzo, todorokita, esmectitas, francolita y feldespatos. Las costras suelen tener más Co y, menos Fe y Mn que los nódulos de manganeso.

- **Potencial económico**

Las costras de Fe-Mn tienen metales en su composición que despiertan interés tecnológico e industrial, siendo los principales cobalto, telurio, hierro, aluminio, níquel, cobre, molibdeno, manganeso, bismuto, torio, niobio, circonio, platino, tungsteno, molibdeno y titanio (Somoza y González, 2011; Hein et al., 2013). Especialmente, el cobalto empleado para el acero de alta resistencia como por ejemplo en la fabricación de aviones, y el telurio empleado también fundamentalmente para fabricar aceros y elaborar aleaciones con plomo (del cual no hay una fuente primaria en tierra firme). También, la industria de células solares ha demostrado interés en la explotación de las costras de Fe-Mn, pero hasta el momento ninguna empresa la ha iniciado (Hein et al., 2013).

2.3. Montes submarinos de las Islas Canarias

- **Formación:**

Esta provincia tiene un origen volcánico, de esta manera las 7 Islas son producto del magma acumulado en el fondo oceánico que emergió a la superficie del mar en diferentes etapas desde el periodo Cretácico. Así pues, el archipiélago está conformado por las siguientes islas: El Hierro, La Gomera, La Palma, Tenerife, Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote. En esta región volcánica se incluyen también más de 100

montes y colinas submarinas, encontrándose entre ellas, los más antiguos y profundos de la Tierra (Marino et al., 2016).

- **Montes y depósitos submarinos**

Diferentes expediciones hallaron en los montes submarinos canarios depósitos polimetálicos tales como costras de ferromanganeso enriquecidas en cobalto, sulfuros polimetálicos y sedimentos metalíferos que se formaron durante el Cenozoico debido a procesos diagenéticos, hidrogenéticos e hidrotermales (Fig.1) (Marino et al., 2016).

Las muestras obtenidas por las expediciones se encontraron en las estructuras volcánicas submarinas de los montes Picoletino y M1, al este de las islas de Fuerteventura y de Lanzarote; los montes submarinos del suroeste de las Canarias denominados Bimbache, Echo, Las Hijas, Paps Tropic y Drago, y también en los volcanes submarinos profundos, Garoe y Tenores 1, 2 y 3 en la cuenca de Canarias, al oeste de La Palma y El Hierro (Barrio et al., 2016).

2.3.1. Nódulos de manganeso

Un depósito importante en los montes submarinos canarios son los nódulos de manganeso que cubren parte de sus flancos y cumbres, los cuales son de tamaño decimétrico.

- **Formación**

Los nódulos de manganeso en las Islas Canarias son producto de una combinación de procesos diagenéticos e hidrogenéticos de precipitación mineral en torno a un núcleo duro, se une a ello los aportes de elementos disueltos que provienen de fuentes hidrotermales originadas por la salida de fluidos calientes y que se dan en las llanuras abisales con profundidades mayores a 3000 m. Cuando las condiciones son adecuadas, precipitan óxidos de hierro-manganeso que van acumulándose en forma de nódulos (Marino et al., 2016).

- **Composición geoquímica**

Estos depósitos polimetálicos, además de manganeso son ricos en cobre, cobalto y níquel, así como cantidades variables de otros elementos trazas y tierras raras.

2.3.2. Costras de ferromanganeso

El depósito más extenso que cubre casi todas las elevaciones submarinas y que puede observarse en la figura 1, es el de las costras de ferromanganeso ricas en cobalto, siendo también el de mayor tonelaje, lo que lo hace el más importante de la zona. Los espesores de las costras son distintos y oscilan entre una pátina milimétrica hasta más de 25 cm, ubicándose las más gruesas y ricas en hierro, manganeso, cobalto y tierras raras, entre otros elementos, en los montes submarinos del suroeste, especialmente en los flancos y las cumbres de los montes Bimbache, Echo, Drago, The Paps y Tropic, sin embargo, hay registros de su existencia en los demás montes (Marino, et al. 2016).

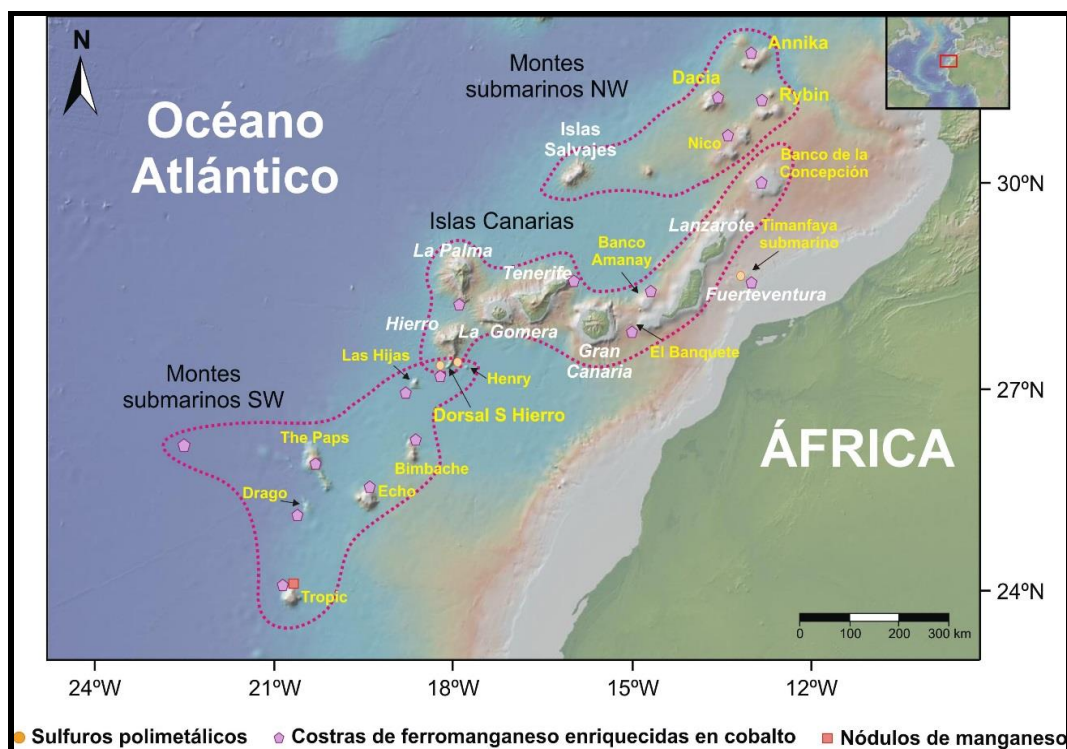


Figura 1. Provincia de los principales montes submarinos de las Islas Canarias. Fuente: IGME y Proyecto EMODnet Geology.

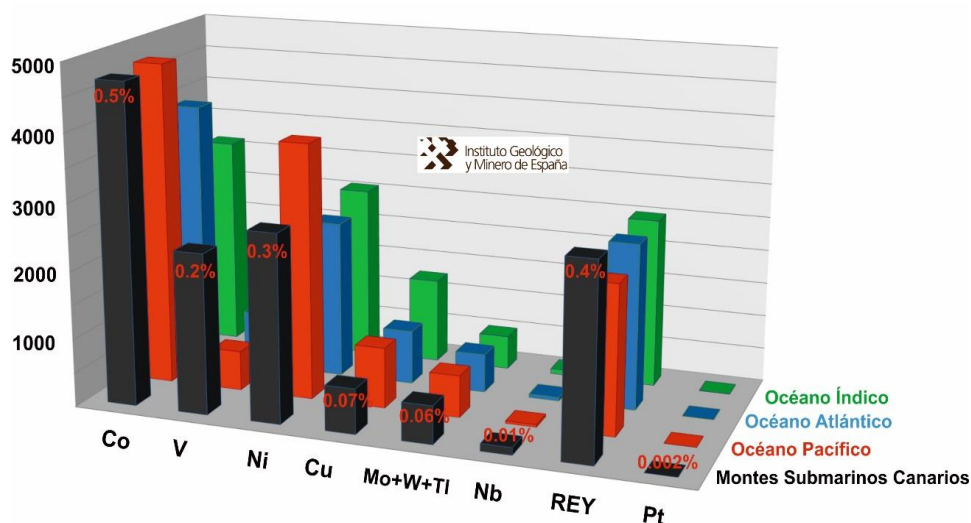
- **Formación**

Las costras de ferromanganeso se formaron por la actividad volcánica en el Cretácico hace aproximadamente 100 millones de años. Los estudios realizados para conocer la antigüedad de las costras señalaron que su formación es lenta, pues las costras analizadas reflejaron tener 28 millones de años aproximadamente, además, encontraron que las del monte submarino Tropic, que estuvo sumergido más tiempo, podrían tener los 76 millones de años; de confirmarse esta antigüedad a través de

estudios isotópicos, las costras de ferromanganeso de Canarias serían las más antiguas de la Tierra (Marino et al., 2016).

- **Composición geoquímica**

Estos depósitos de ferromanganeso contienen lo siguiente: hierro (20%), manganeso (14%) y elementos trazas como cobalto (0.5%), níquel (0.25%), vanadio (0.2%), tierras raras (0.25%) y elementos del grupo del platino (0.02%). Además, poseen telurio, cuyos valores medidos de 50 ppm representan enriquecimientos de 10.000 veces más que los valores medios de la corteza terrestre. El Instituto Geológico y Minero de España (IGME), afirma que los depósitos submarinos de las Islas Canarias son el mayor yacimiento de telurio, así como también posee altas concentraciones de cobalto, vanadio, níquel e itrio a nivel mundial. Este hecho hace que en el suelo submarino de España se encuentren los elementos estratégicos más ricos y de gran interés para la industria tecnológica, cuando se comparan con otros depósitos del mundo, la cual se presenta en la figura 2.



Leyenda:

Co (cobalto); V (vanadio); Ni (níquel); Cu (cobre); Mo+W+Tl (molibdeno + wolframio + talio); Nb (niobio); REY (tierras Raras e itrio); Pt (platino).

Figura 2. Comparación de la concentración de los elementos estratégicos de las costras de ferromanganeso en los montes submarinos canarios y otros depósitos submarinos del mundo. Fuente: IGME, modificado de Marino et al., 2016.

En el estudio mineralógico realizado por Barrio y sus colaboradores (2016) a muestras de costras de Fe-Mn, demostraron que en estas predominan la goethita, vernadita, asbolana, todorokita, y en algunas de ellas apreciaron contenidos de filosilicatos, calcita, cuarzo y plagioclasa. En la figura 3 se observan algunas de las muestras analizadas en los montes submarinos del sur de las Islas Canarias durante la campaña DRAGO realizada en el año 2011.



Figura 3. Costras de ferromanganeso de los montes submarinos del sur de las Islas Canarias analizadas en la campaña DRAGO 2011. Fuente: IGME.

2.3.3. Otros minerales

- **Sedimentos metálicos**

Los sedimentos metálicos se forman a partir del magma. Las muestras de sedimentos metálicos analizadas en el estudio realizado por Barrio et al, (2016) se correspondían al monte Picoletino y Tagoro y encontraron que, en el primero, estaban compuestas por

grandes cantidades de pirita, hematites y magnesioferrita, mientras que en Tagoro la pirita era minoritaria, pero abundaba la ferrihidrita, el opalo y la anhidrita.

- **Fosforitas**

Se han encontrado fosforitas en los montes Echo y Tropic (Marino et al., 2016). Las mineralizaciones de fosforitas están esencialmente constituidas por carbonato-flúorapatito y calcita (Barrios et al., 2016).

2.4. Golfo de Cádiz

El Golfo de Cádiz es un entrante del océano Atlántico y se encuentra ubicado al suroeste de la Península Ibérica, en él convergen las placas Eurasática y Africana, formando parte del cinturón compresivo Alpino-Mediterráneo en la parte más occidental del Arco Bético-Rifeño, concretamente en el frente del Arco de Gibraltar.

- **Formación**

El Golfo de Cádiz ha pasado por diferentes procesos geológicos. Su constitución se fundamenta en materiales rocosos que están adheridos a ostras y pectínidos, que se conocen popularmente como “rocas ostioneras” y, aparecen junto con materiales margosos y arenosos en el Pleistoceno. Su unión forma la lengua de tierra que surge de las aguas, revestida por cordones litorales arenosos que apartan el interior de la bahía del mar abierto (Domínguez-Bella, 2008).

- **Montes y depósitos submarinos**

En el margen continental del Golfo de Cádiz, a unos 500 m y unos 3400 m de profundidad, se encuentran estructuras vinculadas a escapes de fluidos, que de acuerdo a su morfología y a la naturaleza de los depósitos se clasificaron en tres tipos a) depresiones tipo cráter con domos de configuración cónica en su centro, b) volcanes de fango aislados y, c) montículos de fango con chimeneas carbonatadas (Medialdea, 2007).

En el año 2001, el proyecto TASYO, encontró en los montículos Arcos, Ibérico, Coruña, Cornide y Fila de Hormigas, campos de nódulos de Fe-Mn, costras y

chimeneas carbonatadas en el Golfo de Cádiz, generados por estos volcanes y montículos fangoso-gasíferos (González, et al., 2006).

2.4.1. Nódulos de manganeso

- **Formación**

La creación de nódulos de manganeso viene dada por la acción de la corriente marina de salida sobre el fondo marino ya que esta favorece las bajas tasas de sedimentación propicias para la formación de nódulos a través de su crecimiento hidrogénico. También, se encuentran en el Golfo de Cádiz, nódulos polimetálicos que se han formado de modo diagenético debido a procesos de oxidación anaeróbica de hidrocarburos en volcanes de fango y montículos fangoso-gasíferos del fondo marino (Marino et al, 2016; González, et al., 2006).

- **Características**

Los nódulos del Golfo de Cádiz son en su mayoría tabulares, aunque se pueden encontrar algunos esféricos. Sus características son: 1,6-20,4 cm de diámetro máximo; 1,37-1818,8 g de masa; 1,8-2,6 g/cm³ de densidad aparente y 23,9-44,3 % de volumen de porosidad abierta. La textura superficial varía de lisa a rugosa y botroidal. Sus colores están determinados por la cantidad de oxihidróxicos de Fe, el cual es su composición química principal, encontrándose en colores negros y anaranjados (Marino, et al, 2016).

Los nódulos tienen una estructura interna formada por un núcleo generalmente de forma tubular, tamaño centimétrico y de naturaleza margosa. Están impregnados por óxidos y, las envueltas que lo rodean se distribuyen de manera concéntrica al núcleo o con una disposición más compleja. Estas envueltas, según su distribución desarrollan cuatro tipos de facies: moteada, laminada, bandeado detrítico y bandeado masivo (Marino et al, 2016).

- **Composición mineralógica:**

Los nódulos tienen como constituyentes mineralógicos fundamentales lo siguiente: cuarzo, goethita, lepidocrocita, jianshuita, birnessita, y filosilicatos como la caolinita, illita, y esmectita; en menor proporción poseen pirita, alcita, rutilo, dolomita, clorita, kutnohorita, calcopirita, circón y feldespato potásico (González et al., 2006).

- **Composición geoquímica**

A nivel geoquímico, los nódulos del Golfo de Cádiz son muy ricos en hierro (hasta el 45%) y en manganeso (hasta el 9%) y con escasos elementos traza como níquel (0.011%), cobre (0.004%) y cobalto (0.01%) (Marino, et al, 2016; González, et al., 2006).

2.5. Banco de Galicia

Galicia se encuentra ubicada al noroeste de la Península Ibérica. A 180 km de la costa gallega se encuentra el Banco de Galicia, el cual es un monte submarino profundo, de origen tectónico, situado al noroeste de la Península Ibérica. Este banco es la prolongación sumergida de la cordillera Cantábrica y los Pirineos. Su cima tiene aproximadamente entre los 650 y los 1.500 metros de profundidad. Desde allí, caen sus laderas de elevadas pendientes hasta las llanuras abisales que se encuentran a 4.000 metros de profundidad. En él abundan los sedimentos que provienen de conchas de organismos marinos pequeños, depositados en un hábitat de mar abierto (González et al, 2016, INDEMARES, 2014).

- **Formación**

Su posición en la mitad del Atlántico hace que el Banco de Galicia reciba la influencia de distintas regiones y masas de agua generándose gran cantidad de ambientes diferentes, además de favorecer la conservación de larvas y nutrientes permitiendo una gran biodiversidad en el Atlántico, revelando la presencia de una “isla sumergida”. Hacia la costa, existe una cuenca sedimentaria llamada Valle Inclán, que recibe los sedimentos que provienen del continente y los dirige hacia el norte y el sur, lo que impide su llegada hasta el Banco de Galicia, es por ello que la sedimentación en este banco, no tiene un origen continental, sino que proviene de la columna de agua que resguarda el monte submarino haciendo que se depositen sobre el fondo.

- **Montes y depósitos submarinos**

En esta región hay montes submarinos del Mesozoico, como por ejemplo Vasco de Gama, Porto y Vigo, reactivados y elevados durante el proceso tectónico pirenaico en el Cenozoico y posteriormente, influenciados por la

convergencia entre las placas Ibérica y Euroasiática. Debido a ello, se han originado principalmente tres tipos de depósitos minerales: nódulos de manganeso enriquecidos en cobalto, enlosados de fosforitas y costras de hierro-manganeso hidrogenéticas (INDEMARES, 2014).

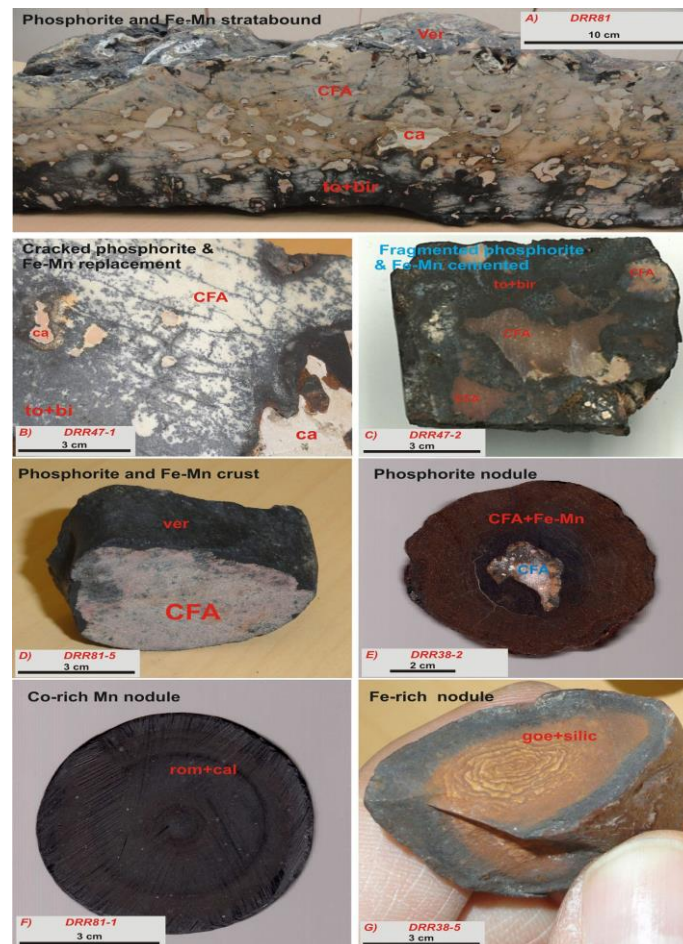


Figura 3. Nódulos de Mn, nódulos de Mn ricos en cobalto, nódulos ricos en Fe y fosforita encontrados en el Banco de Galicia. Fuente: González et al., 2016.

2.5.1. Nódulos de manganeso

En el Banco de Galicia también se han hallado campos de nódulos de manganeso ricos en cobalto (hasta un 4%), o en hierro, con capas concéntricas originadas por la precipitación de los óxidos de hierro y manganeso (Marino et al, 2006). Suelen ser de tamaño centimétrico (hasta 6 cm de diámetro), subsféricos y de colores que van del negro al marrón, sus láminas son porosas y tienen un espesor menor

a mm a mm con texturas que pueden ser laminares o columnares. Estos nódulos tienen un núcleo compuesto por fracciones de losas de fósforo angulares, pálido-marrón-rosa y con un espesor que va de milímetro a centímetro (González et al, 2016).

2.5.2. Costras de Fe-Mn y cortezas

El hierro es el elemento más abundante en los nódulos ricos en Fe a granel seguido de Mn, Si, Mg y Al, con relaciones de Mn / Fe de 0.03 y 0.09. Los oligoelementos que predominan son el boro, As, Co, Ni, Sr y Ba mientras que las concentraciones medias de otros elementos traza, como Cr, Cu, Li, Nb, Pb, Rb, Sc, Se y W, no superan los 30 lg / g con Ag, Sb y Tl por debajo de los límites de detección. Las concentraciones totales de metales minerales potenciales (Cu, Co, Ni, V, Mo) son muy bajas al igual que los contenidos REY (RREY <67 lg / g) (INDEMARES, 2014).

2.5.3. Otros minerales

- **Enlosados de fosforita**

Los enlosados de fosforita que aparecen en el Banco de Galicia se formaron por reposición y cementación de sedimentos carbonatados próximos al suelo marino (González et al., 2014). Generalmente, forman placas similares a pavimentos sobre el suelo marino con varios decímetros de largo y espesores de hasta 10 cm. Sus colores varían desde blancos a una gama amplia de marrones, rojizas y rosadas que permiten su fácil identificación; comúnmente aparecen incrustadas en la superficie de las costras de ferromanganeso hidrogenéticas con concentraciones de hasta un 27% de hierro y un 15% de manganeso en su composición (Marino, et al, 2006).

2.6. Comparación de los tres lugares y tablas

A continuación, se presentan la tabla 1 y 2 en donde se realizan la síntesis de los datos más relevantes de los depósitos minerales encontrados en las regiones de las Islas Canarias, el Golfo de Cádiz y el Banco de Galicia.

Nódulos de manganeso			
Forma predominante	Esféricos.	Tubular.	Esféricos.
Tamaño	Decimétrico.	Centimétrico.	Centimétricos, de hasta 6 cm de diámetro.
Color	Negrusco o castaño oscuro.	Negros y anaranjados.	Del negro al marrón.
Formación	Diagenéticos e hidrogenéticos.	Diagénicos.	Hidrometal.
Composición geoquímica	Manganeso, ricos en cobre, molibdeno, aluminio, cobalto y níquel, además de cantidades variables de otros elementos trazas y tierras raras.	Los nódulos son ricos en Fe y en menor medida Mn, siendo pobres en metales traza y tierras raras.	Además, del Mn son ricos en cobalto y en hierro, cobre, níquel, vanadio y molibdeno.
Composición mineralógica	(Sin datos).	Cuarzo, esmectitas illita, caolinita y en menor medida carbonatos, sulfuros, óxidos y sulfatos como minerales accesorios.	(Sin datos).

Tabla 1. Depósitos de nódulos de manganeso encontrados en las regiones de las Islas Canarias, el Golfo de Cádiz y el Banco de Galicia. **Fuente:** Elaboración propia.

Costras de ferromanganeso			
Forma	Tabulares.	(Sin datos).	Apariencia de costras hidrogenadas típicas.
Textura	En su parte externa botroidal, y en la interna laminar.	(Sin datos).	Botrioides y superficie superior suavizada por las corrientes.
Espesor	Los espesores medios son de 3 a 5 cm, pero también se han encontrado de más de 25 cm.	(Sin datos).	Tienen un promedio de 7–8 mm (máximo 15 mm).
Composición geoquímica	Hierro (20%), manganeso (14 %) y elementos trazas como cobalto (0.5%), níquel (0.25%), vanadio (0.2%), tierras raras (0.25 %) y elementos del grupo del platino (0.02%).	Ricos en hierro (hasta el 45%) y en manganeso (hasta el 9%) y con escasos elementos traza como níquel (0.011%), cobre (0.004%) y cobalto (0.01%).	Abundante hierro seguido de manganeso, silicio, magnesio, aluminio, vernadita, goetita y asbolano.

Composición mineralógica	Predominan la goethita, vernadita, asbolana, todorokita, y en algunas de ellas apreciaron contenidos de filosilicatos, calcita, cuarzo y plagioclasa.	Cuarzo, goethita, lepidocrocita, jianshuita, birnessita, y filosilicatos como la caolinita, illita, y esmectita; en menor proporción poseen pirita, alcita, rutilo, dolomita, clorita, kutnohorita, calcopirita, circón y feldespatos potásico.	Predominan oligoelementos como el boro, As, cobalto, níquel, estroncio y bario, además concentraciones medias de elementos traza, como cromo, cobre, litio, niobio, plomo, rubidio, escandio, selenio y wolframio.
--------------------------	---	---	--

Tabla 2. Depósitos de costras de ferromanganeso encontrados en las regiones de las Islas Canarias, el Golfo de Cádiz y el Banco de Galicia. **Fuente:** Elaboración propia.

Los nódulos de Fe-Mn encontrados en los montes de las Islas Canarias tienen procedencia diagénica e hidrogénica, mientras que en el Golfo de Cádiz tiene un origen diagénico derivado de la oxidación anaeróbica de hidrocarburos y materia orgánica en zonas de vulcanismo y diapirismo de fango y, en el Banco de Galicia la formación es hidrometalúrgica. Entre los nódulos de las tres regiones, las investigaciones han evidenciado que los más viejos son los de las Islas Canarias, mientras que los de formación más lenta son los del Banco de Galicia.

Sobre la forma de los nódulos, las muestras encontradas han evidenciado que en las Islas Canarias y en el Banco de Galicia predominan los de forma esférica siendo más grandes los encontrados en Canarias, mientras que en el Golfo de Cádiz predominan los de forma tubular siendo del mismo tamaño que los nódulos encontrados en Canarias. En cuanto al color, éste dependerá de la cantidad de Fe que contengan encontrándose desde el negro, pasando por marrones hasta llegar al naranja, los dos primeros colores se encuentran en Canarias y en Galicia, mientras que el último se encuentra en Cádiz.

Referente a su composición geoquímica y mineral, ésta es más o menos similar en las tres regiones predominando, además del Mn y el Fe, el cobalto, sin embargo, sobre los nódulos del Golfo de Cádiz se registraron más cantidades de minerales como el cuarzo.

Pasando a las costras de ferromanganeso, en las Islas Canarias y Galicia, su forma y textura es similar, predominando la forma tubular y la textura botroidal. No se obtuvieron datos referentes a las costras de ferromanganeso del Golfo de Cádiz. En cuanto al espesor, las de Canarias son más pequeñas que las del Banco de Galicia, sin embargo, sus medidas son en milímetros. Ahora bien, sobre su composición geoquímica y mineralógica en las tres regiones son muy ricas en hierro, manganeso, cobalto, vernadita, goetita, pero se reportan más minerales que difieren de una región a otra, lo que si se demuestra es que las costras son muy ricas en minerales.

Para finalizar la comparación cabe señalar que los minerales que han demostrado mayor interés para las Islas Canarias y Galicia son las costras de ferromanganeso porque sus componentes químicos son materia prima para la industria de alta tecnología, mientras que para el Golfo de Cádiz son las chimeneas de carbonatos derivados de metano y los nódulos de hierro-manganeso (Fe-Mn), ya que representan recursos minerales marinos que proporcionarán materias primas y recursos energéticos para los sectores de fabricación y construcción.

En los últimos años, ha sido recurrente la imposición de límites sobre la utilización de recursos metales naturales por regulaciones internacionales para garantizar su uso justo y bajo impacto ambiental, los cuales son derivados de la economía global, que paradójicamente ha hecho que exista una necesidad creciente sobre la obtención de nuevas fuentes para abastecer a las industrias, especialmente las de alta tecnología. Hasta la fecha se ha excluido al ambiente marino de la explotación de metales, a excepción de los depósitos de placer cercanos a la costa, en esta situación han ejercido su influencia factores legales, tecnológicos y económicos, no obstante el nuevo orden político y económico internacional, en conjunto con las expectativas creadas por la tecnología marina como consecuencia de más 50 años de explotaciones petrolíferas (Méndez et al., 2000) ha facilitado un escenario que beneficia su explotación.

Méndez et al (2000) plantea que esta situación surge unida a la creciente demanda de metal por parte de las industrias, debido a las condiciones políticas inestables entre los años 80 y 90 por la que pasaron parte de los países productores, así como la revolución tecnológica que promueve la búsqueda de materias primas nuevas para sustituir las empleadas en anteriores industrias, los programas de diversificación y conservación energética.

En la actualidad, los fondos marinos son la reserva más grande de la Tierra en referencia a los metales estratégicos. Se conoce que éstas están compuestas de la siguiente manera: 96% del cobalto, el 84% del níquel o el 79% del manganeso. También, es conocido que entre los depósitos submarinos más importantes de acuerdo al tamaño y tonelaje son los sulfuros polimetálicos submarinos, los nódulos de manganeso y las costras de ferromanganeso con alto contenido en cobalto y los depósitos submarinos de tipo placer como los de diamantes, estaño, oro, evaporitas y fosforitas (Cronan, 2000).

Todos estos recursos minerales submarinos pueden ser fuentes de suministro de materiales para la industria de alta tecnología y son muchos los países que contemplan su exploración y posterior explotación, pues están surgiendo tensiones crecientes entre la disponibilidad de minerales y los requisitos globales, además, muchos dependen de otros países para aprovisionarse de estas materias primas, tal como la Unión Europea que depende del 100% de China, África subsahariana y Rusia.

Se hace inevitable que, en un futuro, y posiblemente cercano, se comience a explotar el potencial que existe en los depósitos submarinos de nódulos y costras de Fe-Mn, fosforitas y sulfuros, especialmente en el continente europeo específicamente el Banco de Galicia, el Golfo de Cádiz y en los montes submarinos próximos a las Islas Canarias (Barrio et al., 2016).

Ya en la región oceánica de Canarias más de 100 montes y relieves submarinos elevados hasta 3000 m por encima de los fondos marinos están siendo explorados con interés económico y científico (González et al., 2014; 2015; Marino et al., 2016). Mientras que, en el Golfo de Cádiz, las reservas submarinas de minerales son vistas con gran interés para incrementar el recurso energético a través del gas natural que existe en las profundidades, así como también, los nódulos de manganeso, hierro y titanio. En lo

que respecta al Banco de Galicia, los recursos minerales marinos como hidrocarburos, fosforitas, placeres, sal, hidratos de gas, despiertan un interés económico.

Esta actividad, sin duda tendrá impactos en el ambiente y en la economía de las naciones y ciudades en donde existen depósitos submarinos de metales, unos negativos y otros positivos, respectivamente. A pesar de que Pitcher et al. (2010), refiera que las explotaciones mineras en los montes submarinos se llevarán a cabo en áreas de pequeño tamaño y que los impactos negativos provocados en el ambiente serán menores que los que provoca la pesca de arrastre en alta mar, si estas actividades no se realizan adecuadamente, el impacto en el ambiente local podría tener un efecto grave.

3. CONCLUSIONES

Las investigaciones realizadas en los mares de España han evidenciado depósitos minerales submarinos en donde se encuentran elementos como el hierro, el manganeso, el telurio, el vanadio, el cobalto y las tierras raras, entre otros, que representan reservas de minerales que se están acabando o no existen en tierra firme y que pueden ser fuentes de materia prima o elementos importantes para las diferentes industrias.

Entre las regiones en donde se encuentran estos elementos aparecen las Islas Canarias, el Golfo de Cádiz y el Banco de Galicia. Sin embargo, hasta el momento, en España sólo se extrae del mar la sal, así como arenas y gravas utilizadas como materiales de construcción, pero se tiene ya un interés muy especial en otros tipos de minerales de aguas profundas, por lo que en un futuro cercano será probable que se inicie la explotación de los nódulos de manganeso y las costras de ferromanganeso, así como por los compuestos energéticos de los campos de chimeneas y volcanes de gas.

El hecho de que estas tres regiones tengan distintas génesis, ha permitido que se generen algunos elementos propios a sus características, tal es el caso del Golfo de Cádiz que en su fondo marino posee volcanes que son los que permiten la formación de chimeneas carbonatadas importantes para proveer de gas. Sin embargo, para la formación de los nódulos y las costras es más determinante la influencia de las corrientes marinas, la salinidad del agua, así como el tipo de partículas que arrastran los vientos y los ríos hacia sus montes submarinos, y es por ello que en las tres regiones

estudiadas se encuentran diferencias dadas en las concentraciones de los minerales, mas no en sus componentes como tal.

A pesar de que las características de los nódulos de manganeso y de las costras de ferromanganeso difieren especialmente en su forma y su génesis, en su composición geoquímica y mineralógica son bastante similares, la variación viene dada por la existencia de algún elemento que presenta una concentración mayor al resto. Es precisamente la composición mineralógica lo que despierta el interés de cada una de las regiones.

De esta manera, tenemos que en las Islas Canarias y en Galicia, el interés se centra en las costras de ferromanganeso porque en ellas se encuentra un elemento que no existe en tierra y que se ha vuelto vital para la industria de alta tecnología, este elemento es el titanio. No obstante, el hierro y el manganeso contenidos en las costras son empleados habitualmente en tintas, composición para aceros, pigmentos pulidores y papel para heliográficas. Otros elementos de su composición también son empleados en diferentes industrias, como el cobalto que es utilizado como secante de pinturas, en los electrodos de las baterías, en las turbinas de gas de los aviones, etc.; el cobre muy empleado en la industria eléctrica y de las telecomunicaciones; el zinc, utilizado en la industria química y metalúrgica, así como en nanotecnología, en donde resulta muy útil. Mientras que en el Golfo de Cádiz el énfasis está puesto en las chimeneas carbonatadas generados por los volcanes y montículos fangoso-gasíferos sumergidos y que representan reservas de gas. Sin embargo, esto no significa que no exista interés en la explotación y empleo de las costras de ferromanganeso o los nódulos de manganeso.

Por lo tanto, desde la perspectiva de la economía y el desarrollo de nuevas tecnologías, se hace evidente que la explotación y extracción de estos recursos minerales resulta muy provechoso para el país. No obstante, se sabe que el lecho marino aún no ha sido del todo reconocido, lo que hace que la ubicación de estos materiales tenga un alto coste que repercute en la economía, pues precisa de más expediciones y equipos especiales para su explotación. Sin embargo, los beneficios pueden ser mayores porque representan no solo una entrada de dinero, sino también el avance tecnológico y la satisfacción de diferentes necesidades de tipo social, como por ejemplo en la construcción y mantenimiento de parques. Debe tomarse en cuenta, también, que el empleo de maquinarias y equipos para la extracción de los nódulos de manganeso y las

costras de ferromanganeso tiene un gran impacto ambiental y ecológico, por lo que debe realizarse tomando las precauciones del caso y considerando sus consecuencias.

3. CONCLUSIONS

The researches carried out in the seas of Spain have shown submarine mineral deposits, where minerals such as Fe, Mn, Te, V, Co and rare earth elements, among others, are to be found. These elements represent mineral reserves which are about to end or don't exist any longer on mainland, and that can be a source of raw materials or important elements for the different industries.

The Canary Islands, the Gulf of Cadiz and the Bank of Galicia are among the regions where these elements are to be found. However, up to now, sea salt, sands and gravel are the only materials to be pulled out to be used in the building industry, but there is an increasing, special interest to extract other kinds of minerals from the deep sea-water. Therefore, it is likely to start the exploitation of Mn nodules and Mn-Fe crusts in the near future, together with the energy compounds in the fields of chimneys and gas volcanoes.

The fact that these three regions have a different origin has resulted in the generation of some elements with features of their own, such as it happens in the Gulf of Cadiz where there are volcanoes in the sea bottom which allow the formation of carbonated chimneys, an important resource to get gas. However, the sea currents, the sea salinity, and the type of particles drawn by the winds and rivers towards their sea mount are more determining for the formation of the nodules and crusts. Therefore, in the three researched regions differences in the concentration of the minerals are to be found but none in the compounds themselves.

Although the features of the Mn nodules and the Mn-Fe crusts are different, especially in their shape and origin, they are quite similar in their geochemical and mineralogical composition. The variation comes from the existence of any element which shows a higher concentration compared to the others. It is the mineralogical composition itself that arouses the interest in each of the regions.

Thus, in the Canary Islands and Galicia, the interest is focused on the Mn-Fe crusts due to the fact that an element which doesn't exist in land is to be found in the crusts and has become of vital importance for the high-technology industry, that element is the Titanium. Nevertheless, the Fe and Mn contained in the crusts are usually employed in inks, composition for steel, polishing pigments and paper for heliography. Other elements of their composition are also used in different industries, for example, the Co, which is employed as paint drying, in the battery electrodes, in the gas turbines of the airplanes, etc. The Cu is very much used in the electrical and telecommunication industry; the Zn, used in the chemical and metal industry, in the nanotechnology as well, where it is being really useful. On the other hand, in the Cadiz Gulf, the emphasis is more on the carbonated chimneys generated by the muddy-gas immersed mounts, which represent gas reserves, but this does not mean they are not interested in the exploitation and use of the Mn-Fe crusts or the Mn nodules.

To conclude, from the perspective of the economy and the development of the new technologies, it is obvious that the exploitation and extraction of these mineral resources can become very useful for the country. However, it is a fact that the seabed has not all being recognized, so the location of these materials makes it very expensive for the economy, as it needs expeditions and especial equipment to get there. Nevertheless, the benefits are high because it means not only a good income, but also a technological advance and the satisfaction of different necessities in the social field, like, for example in the building and maintenance of parks. It must also be taken into consideration that the use of machines and equipment for the extraction of the Mn nodules and the Mn-Fe crusts will have a high environmental and ecological impact. Therefore, it should be done taking the necessary precautions and taken into account the consequences.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baturin, G. N., and I. G. Drovetsova. 2014. Hydrothermal manganese mineralization in the Peterbourgskoye Ore Field (North Atlantic), *Oceanology*, 54(2): 222–230.
- Bau, M., K. Schmidt, A. Koschinsky, J. Hein, T. Kuhn, and A. Usui. 2014. Discriminating between different genetic types of marine ferro-manganese crusts and nodules based on rare earth elements and yttrium, *Chem. Geol.*, 381:1–9.
- Cronan, D.S. (Ed.) (2000). Handbook of marine mineral deposits. CRC Marine Science Series, 17. CRC Press: Boca Raton. ISBN 0-8493-8429-X.
- Del Barrio, I. B., González, F. J., Somoza, L., Medialdea, T., Marino, E., & Blanco, L. 2016. Cartografía SIG de Recursos Geológicos Marinos en la Provincia de Montes Submarinos de las Islas Canarias. *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 21:11-13.
- Domínguez-Bella, S. 2008. Geología en el entorno de la ciudad de Cádiz. *RAMPAS*.10:1-508
- Gobierno de Canarias. (25 de septiembre de 2015). Formación de la Isla Canarias. Recuperado de http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/wiki/index.php/Formaci%C3%B3n_de_las_Islas_Canarias
- González F. 2008. Nódulos y Costras de Fe-Mn en el Golfo de Cádiz y la Antártida: Génesis e Implicaciones Paleoceanográficas. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía Macla*, 12: 52-53.
- González, F., Medialdea, T., Gómez-Ramos, G., Somoza, L., Marino, E., León, R. 2015. Primer catálogo de mineralizaciones submarinas en España: Proyecto EMODnet- Geology. VIII Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico (MIA15) 695-698.
- González, F.J. et al. 2006. Nódulos de hierro-manganeso: el nuevo descubrimiento del Golfo de Cádiz. *Boletín Geológico y Minero*, 117: 491-497
- González, F.J., Somoza, L., Lunar, R., Martínez- Frías, J., Medialdea, T., León, R., Martín-Rubí, J.A., Torres, T., Ortiz, J.E., Marino, E. 2014. Polymetallic ferromanganese deposits research on the Atlantic Spanish continental margin. in: “43rd Underwater Mining Institute Conference”, J.R. Hein, F.J.A.S. Barriga, C.L. Morgan, eds. Lisbon.
- Hein, J. R., A. Koschinsky, M. Bau, F. T. Manheim, J.-K. Kang, and L. Roberts. 2000. Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific, in Hand- book of Marine Mineral Deposits, edited by D. S. Cronan, 239–279, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Hein, J. R., Mizell, K., Koschinsky, A., & Conrad, T. A. 2013. Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high-and green-technology applications: Comparison with land-based resources. *Ore Geology Reviews*, 51:1-14.
- INDEMARES. 2014. Banco de Galicia. Áreas de estudio del proyecto LIFE+INDEMARES. Madrid: Imaginate con Arte S.L.
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Recuperado de: <http://www.igme.es/>
- Marino, E., González, F.J., Somoza, L., Lunar, R., Ortega, L., Vázquez, J.T., Reyes, J., Bellido, E. 2016. Strategic and rare elements in Cretaceous-Cenozoic cobalt-rich ferromanganese crusts from seamounds in the Canary Island Seamount Province (northeastern tropical Atlantic). *Ore Geology Reviews* (<http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.005>)

- Martins L y De Sousa K. 2008. Recursos minerales del mar. En Cassio Da Silva (Ed). Geodiversidad de Brasil. Conocer el pasado para comprender el presente y prever el futuro. Río de Janeiro: CPRM.
- Medialdea, T. 2007. Estructura y evolución tectónica del Golfo de Cádiz. Series tutoriales Núm. 8. Instituto Geológico y Minero de España: Madrid.
- Méndez D, Bernabeu AM, Manso, F. y Vilas F. 2000. Recursos Minerales marinos en las rías gallegas y en la plataforma continental Adyacente. *Journal of Geology Ibérica*, 26:67-97
- Mero, J. L. 1965. *The mineral resources of the sea* (Vol. 1). Elsevier.
- Mukherjee, S. 2011. Applied Mineralogy: Applications in Industry and Environment, 281, Springer: Reino Unido. DOI 10.1007/978-94-007-1162-4_11
- Núñez-Useche, F., Barragán, R., & Canet, C. 2013. Sedimentación carbonatada, silícica y otros sedimentos químicos en los ambientes marinos profundos. *La frontera final: el océano profundo*. INECC, México, 57-84.
- Pitcher, T.J., M.R. Clark, T. Morato, and R. Watson. (2010). Seamount fisheries: Do they have a future? *Oceanography* 23(1):134–144.
- SEMARNAT-INE. 2014. La frontera Final: El Océano Profundo. En Low Pfeng A. y Peters Recagno M. (Eds). México D.F.
- Somoza L, y González J. 2011. Minería submarina: se inicia la explotación de los fondos oceánicos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (19.1):115-118.