



CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

Universidad Politécnica de Madrid

INTRODUCCIÓN A LA MINERÍA SUBMARINA Y OCEÁNICA

**"LABOREO DE MINAS I"
(3º GITM – GIG)**

Juan Herrera Herbert

**Department of Mining and Geological Engineering.
Madrid School of Mines
Technical University of Madrid**

Dec - 2019





ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.



Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner.

Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

Copyright © 2019. Todos los derechos reservados

Minería de Fondos Marinos

- Las sustancias que pueden ser explotadas en los fondos marinos pueden dividirse en dos grandes grupos:
 - Combustibles fósiles, fundamentalmente petróleo y gas natural.
 - Minerales principales
- Desde la década de 1970, la escalada de los precios del petróleo y del gas natural hizo que la explotación comercial de los yacimientos existentes en las aguas continentales, menos profundas, se convirtiera en una posibilidad económica muy atractiva.
- Hoy día, la explotación marina de petróleo y gas es una actividad rutinaria y cotidiana.
- Además, es una tecnología totalmente desarrollada que avanza a pasos agigantados.

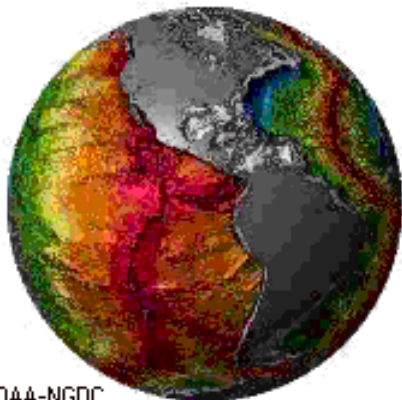


Desarrollos de minería oceánica

- Actualmente se conoce un conjunto de **25 materiales** de los que se sabe a ciencia cierta **que se presentan en los fondos** en cantidades suficientemente significativas para constituirse en **reservas mineras**.
- Excluyendo la extracción de arenas y gravas para actividades de conquista de territorios al mar (Japón, Holanda, Emiratos, etc.), **actualmente tan solo cuatro de ellas son plenamente explotadas a escala industrial**.
- Esta industria constituye actualmente un **1 % del total mundial** y se espera que crezca en los próximos años.



Cu- and Zn-rich orifices from Satanic Mills hydrothermal chimney sample. (Photo: Ray Binns)

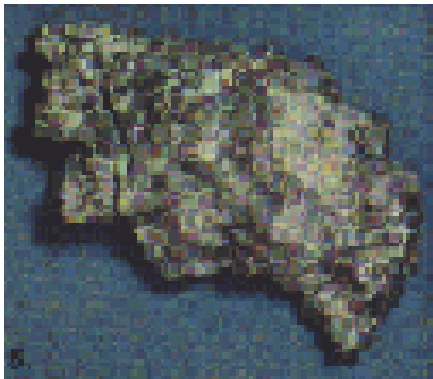
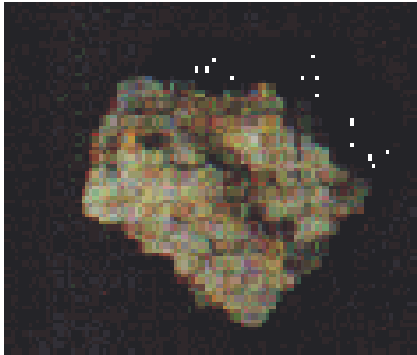


NOAA-NGDC



- Las líneas de desarrollo de la Minería Oceánica se estructura en función tres grandes grupos en los que pueden clasificarse los materiales potencialmente con cierta importancia económica en el futuro:
 - Minerales de Placer o Depósitos.
 - Formaciones de nódulos y costras.
 - Depósitos de origen termal.

Oceanic Placer Mining (Minería de Placer Oceánica)

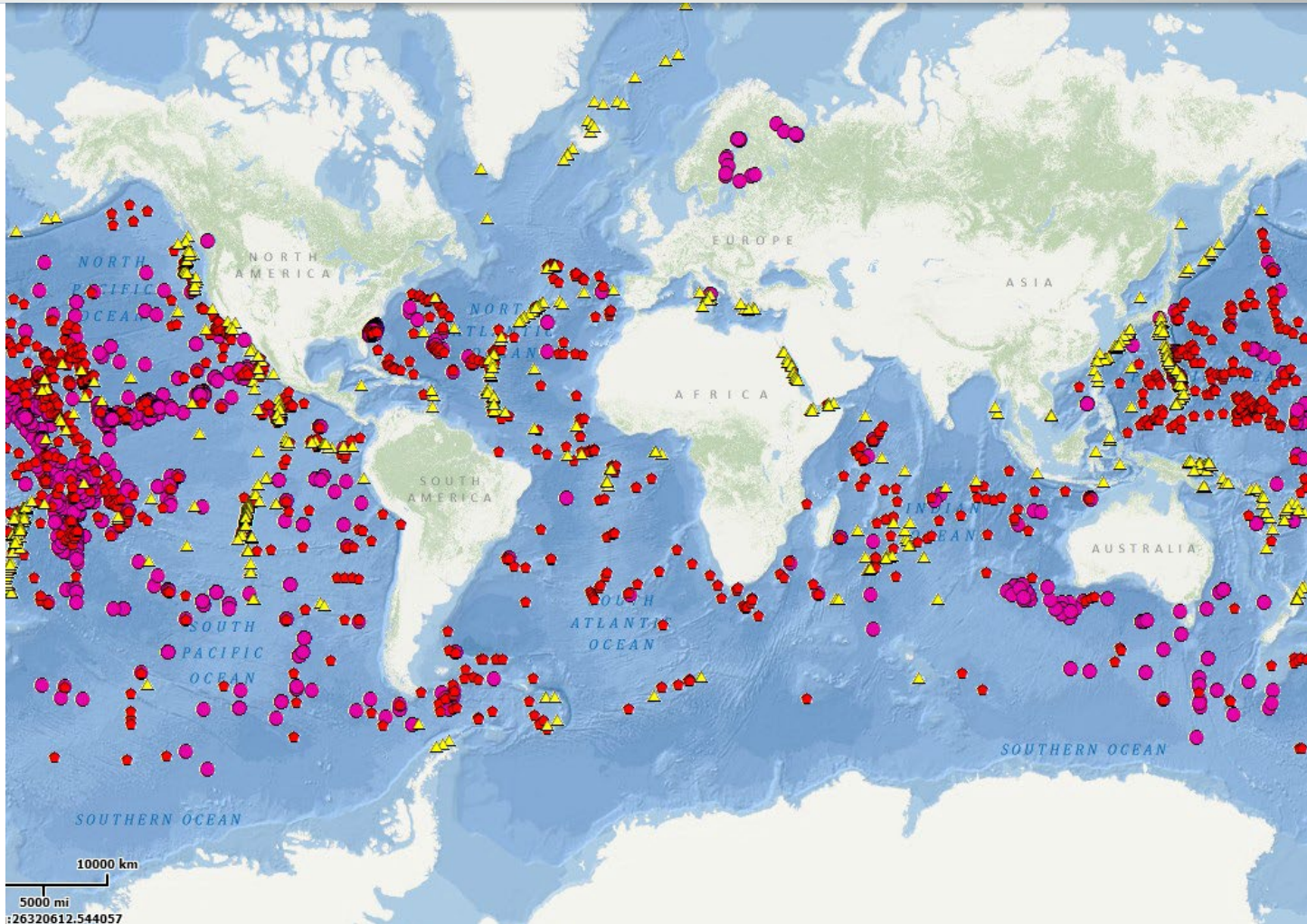


- Se agrupan en esta categoría depósitos de existencia conocida de:
 - Estaño
 - Titanio
 - Cromo
 - Oro
 - Plata
 - Etc.
- Es muy interesante el caso del **Titanio**, cuyas **reservas submarinas constituyen la mitad de las reservas mundiales** conocidas y las explotaciones submarinas constituyen también la mitad del suministro actual.
- Un **14 % de la producción mundial de estaño** se obtiene a partir de actividades de dragado "offshore" en la llamada "faja estannífera" o "tin belt" del Sudeste Asiático. Esta actividad, que se desarrolla a lo largo de las costas de la Península Malaya y Borneo ha estado en operación durante más de un siglo.

Nódulos y costras



- Este segundo grupo es uno de los más interesantes, tanto por sus orígenes como por sus características.
- Lo constituyen minerales submarinos únicos por su alto contenido en Platino, Cobalto, Níquel, Manganeso y Cobre.
- En el caso del Cobalto y del Níquel, las reservas submarinas calculadas son muy superiores a los recursos actualmente conocidos en tierra firme.
- Sin embargo, estas reservas se encuentran actualmente a profundidades abisales y la tecnología para su recuperación económica se encuentra en unas fases muy preliminares.
- Actualmente no son considerados todavía un recurso económicamente explotable en un futuro próximo.



- Polymetallic Sulphides
- Polymetallic Nodules

- Cobalt-rich Ferromanganese Crust

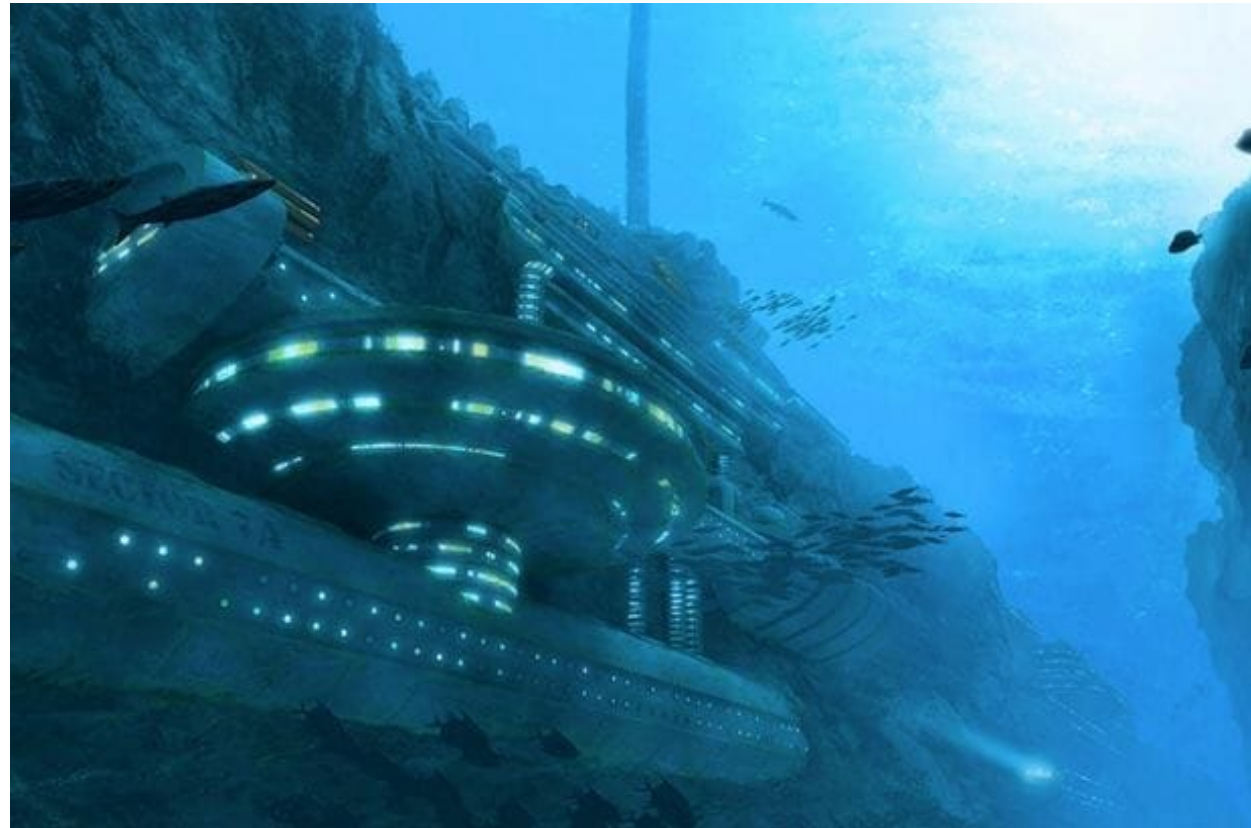
Bloomberg

Business

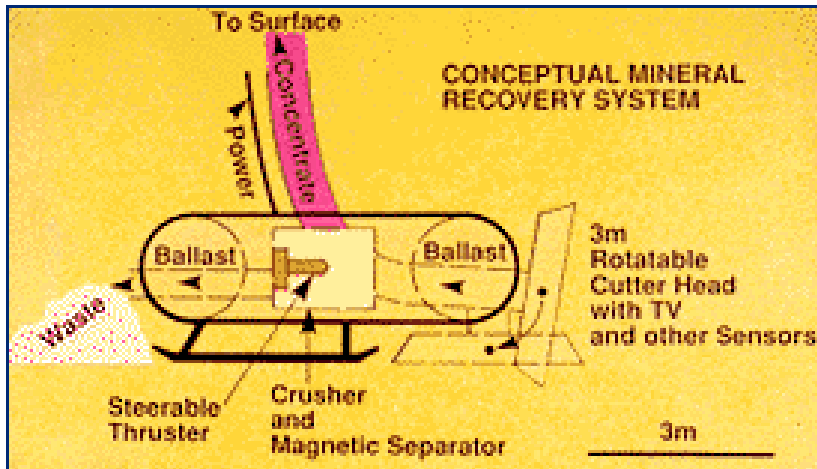
China Is Planning a Massive Sea Lab 10,000 Feet Underwater

Bloomberg News

8 de junio de 2016 0:00 CEST Updated on 8 de junio de 2016 5:43 CEST



Nódulos y costras



- La tecnología para la extracción de muestras de los fondos marinos **no está** todavía **totalmente desarrollada**.
- Es por ello que han comenzado a utilizarse algunas de las técnicas que se han venido desarrollando para los programas orientados a la explotación de los nódulos de manganeso desde los años de la década de 1970.
- El equipo por el momento más desarrollado es de fabricación japonesa y se estima que podría ser empleado en la explotación tanto de los nódulos de manganeso como de los sulfitos polimetálicos.



Nódulos de Manganeso

- El descubrimiento de la presencia de los nódulos de manganeso en los fondos marinos tuvo lugar en 1803, pero no fue hasta después de la Segunda Guerra Mundial cuando empezaron a desarrollarse las investigaciones más solventes. Entretanto, en 1928 se documentaba el descubrimiento de la presencia de una clase muy específica de bacterias férricas en nódulos de manganeso procedentes del fondo de la cuenca del Ártico.
- Posteriormente, también se encontraron en los nódulos de manganeso otras especies de microorganismos capaces de producir la acumulación de hierro y de manganeso. La función de los microorganismos en el manganeso y el mecanismo de oxidación todavía se encuentran en debate y se cree que los factores biogénicos determinan de manera considerable el destino del manganeso en su camino a los océanos.

- Los nódulos de manganeso son cuerpos de forma esférica o esferoide, de color negrozco o castaño oscuro, porosos y de talla y peso variables.
- Se componen de una docena o más de metales diversos, entre los cuales los de mayor interés industrial y tecnológico son el níquel, cobalto, molibdeno, cobre, manganeso, hierro y aluminio.
- La mayoría de los campos de nódulos con interés industrial suelen encontrarse a profundidades entre 4.000 y 6.000 metros de profundidad, en las grandes llanuras abisales de los océanos localizadas entre cordilleras submarinas asociadas a la actividad de dorsales oceánicas y zonas de falla transformantes.

- Goldshmidt fue el primero en realizar una aproximación al problema mediante un balance y, en 1954 apuntaba que las masas absolutas de algunos metales presentes en los fondos oceánicos excedían las cantidades aportadas por la disgregación de las masas rocosas continentales y su transporte hasta los océanos a lo largo de los tiempos geológicos.
- En 1966, los científicos calcularon el balance de algunos de los elementos presentes en el océano. Los cálculos revelaron un exceso de manganeso con respecto a las aportaciones a partir de fuentes continentales. Los resultados también revelaron que elementos tales como cloruros, sulfuros, bromuros, yoduros, molibdeno, etc., también se encontraban en exceso.
- De acuerdo a los resultados de los cálculos, Elderfield, en 1976 estableció que el aporte de manganeso disuelto hacia los océanos desde las diversas fuentes es de entre 2,2 y 4,0 millones de toneladas anuales. Entre 0,7 y 7,4 millones de toneladas anuales precipitan a los fondos oceánicos; entre 0,5 y 10 millones de toneladas anuales de manganeso hidrotermal llega a los océanos.

- Sin embargo, de acuerdo a diferentes estimaciones, el aporte de manganeso labil y disuelto a los océanos es:
 - 0.2 - 0.4 millones de toneladas anuales por descarga fluvial;
 - 0.05 - 0.3 millones de toneladas anuales de material atmosférico;
 - 1 - 10 millones de toneladas anuales de material hidrotermal; y
 - 0.4 - 4 millones de toneladas anuales por flujo diagenético.
- Por tanto la amplitud del máximo y mínimo se estima en 1,2 – 14,7 millones de toneladas por año. Estos son los perfiles generales de las acumulaciones de nódulos de manganeso.
- La tasa de acumulación de manganeso debe, no obstante, ser estudiada individualmente para cada región oceánica.

- Dependiendo de los principales elementos (manganeso, hierro y metales base) presentes en los nódulos de manganeso, pueden distinguirse tres grupos principales:
 - **Hidrogénico:** formado gracias a la lenta deposición de metales fuera del agua del mar y caracterizados por altas concentraciones de metales básicos y ratios Mn/Fe variables entre 0.5 y 5.
 - **Hidrotermal:** ricos en hierro y con escasos contenidos de otros metales, se presentan con rangos muy amplios de ratios Mn/Fe.
 - **Diagenéticos:** caracterizados por elevadas relaciones Mn/Fe y relativamente bajas concentraciones de metales básicos.



- Actualmente, son considerados como una de las características más sorprendentes de los fondos marinos.
- Desde la década de 1960, los nódulos han sido reconocidos ya como potenciales yacimientos y su investigación ha venido siendo estimulada como consecuencia del rápido decremento de las reservas en tierra firme.

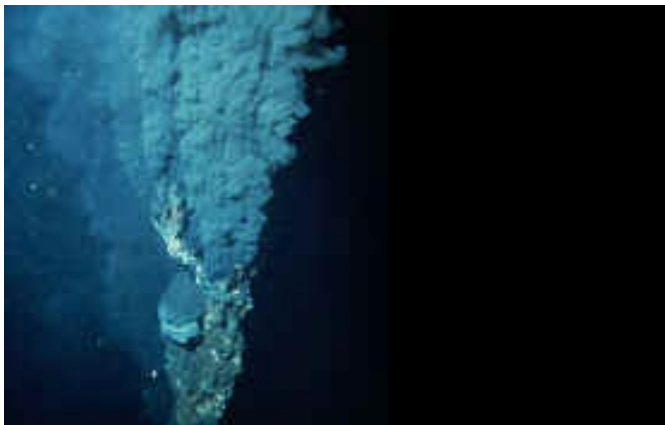


- Con respecto a las fuentes y origen de estos materiales, existen tres teorías:
 - La que afirma que el principal aporte a los océanos procede de zonas terrígenas y volcánicas, así como de actividad hidrotermal.
 - La que considera los materiales de origen volcánico como el principal aporte de esta mena y su acumulación en los fondos oceánicos.
 - La que considera las fuentes terrígenas como el principal aporte a los océanos.
- Este problema ha levantado mucho interés tanto en la geoquímica como en los estudios del hidrotermalismo marino y sus aportes a los recursos minerales submarinos.

Depósitos termales



- Es el grupo de sustancias y materiales más recientemente descubierto.
- Lo constituyen las deposiciones termales de los fondos oceánicos, que se han constituido en una nueva clase de recursos minerales.
- Estos manantiales de aguas calientes aportan sulfuros metálicos desde el interior de la corteza terrestre que, en contacto con las frías aguas circundantes, dan lugar a la precipitación de los sulfuros en grandes cantidades.
- Constituyen una fuente potencial de Cobre, Cinc y Plomo de gran interés, pero también desarrolladas a profundidades abisales.





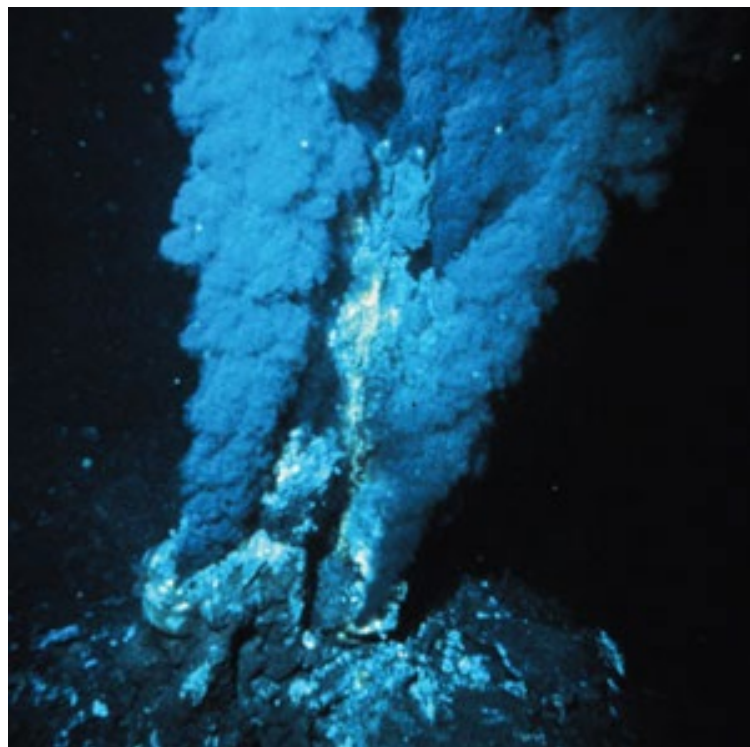
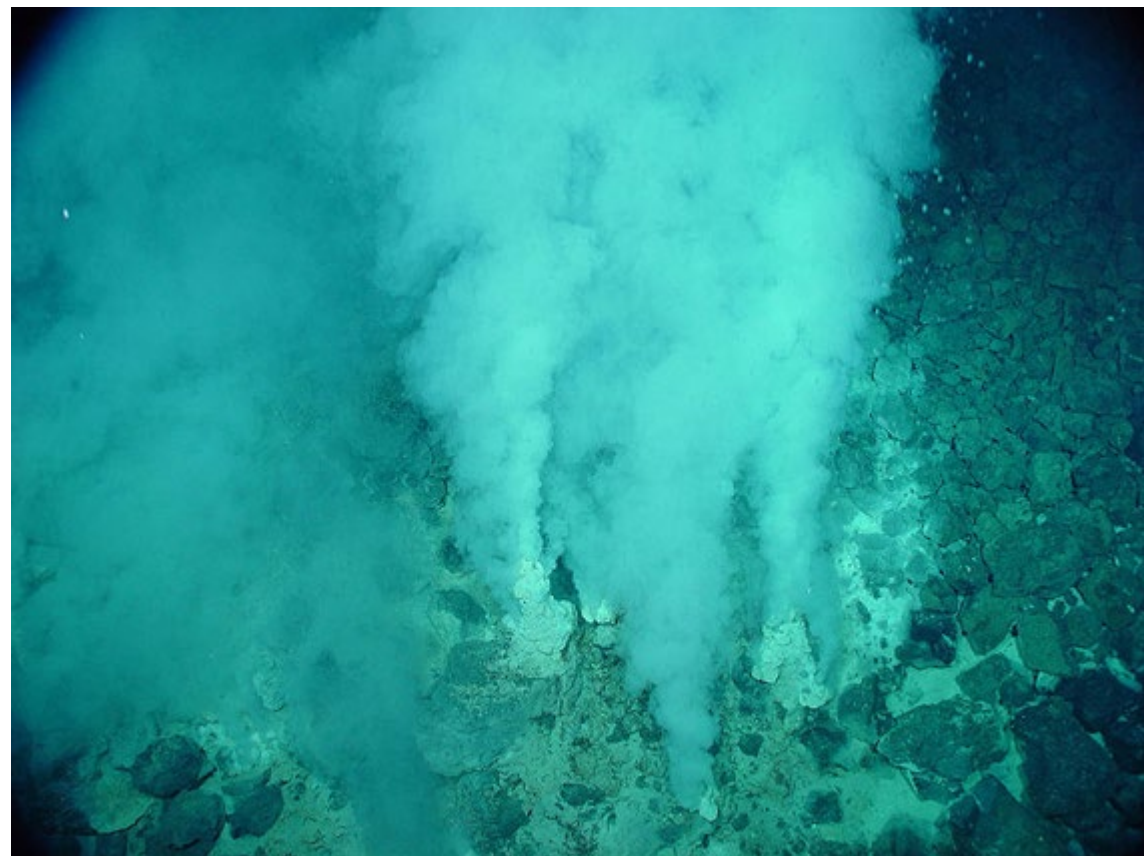
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid

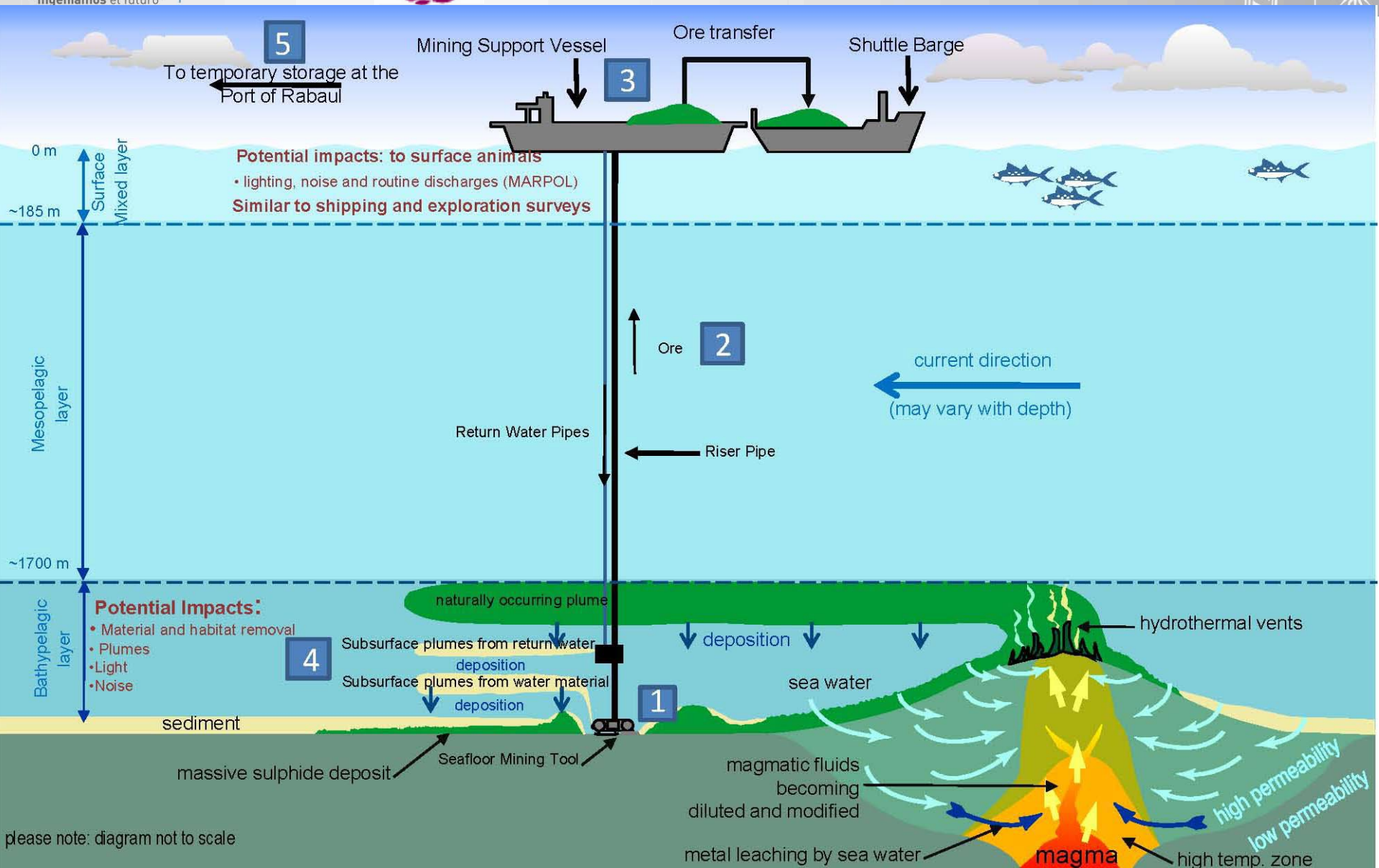




- En la actualidad se han contabilizado no menos de 140 emplazamientos en los que se ha desarrollado o incluso continúa en la actualidad, actividad de tipo hidrotermal (hydrothermal venting) en los fondos marinos.
- Además de esta cifra, la geología, geofísica y biología marinas descubren cada año nuevos recursos a partir de investigaciones básicas sobre procesos en continua evolución.
- Este es un importante mecanismo de disipación de calor desde el interior de la corteza.
 - Las emisiones de agua caliente alcanzan temperaturas de hasta 420°C, aunque comúnmente se localizan a 350°C.
 - En estas condiciones, el transporte en disolución de metales en altas concentraciones de metales, azufre reducido y otros elementos es altamente probable y estos precipitan cuando alcanzan las aguas del fondo del océano a 2°C de temperatura.



- Por su importancia, destacan los campos de emanaciones hidrotermales submarinas de "Middle Valley", emplazamiento ubicado en la costa Oeste de Canada, donde se ha calculado la existencia de 25 millones de toneladas métricas de deposiciones hidrotermales de alta concentración.
- Estas deposiciones están creciendo en gruesas capas de sedimentos.
- Las perforaciones desarrolladas por el "Ocean Drilling Program", del que Canadá es miembro, han descubierto la presencia de 220 metros de lentejones apilados con concentraciones medias de: 3,3% Cu, 19,6% Zn y 0,1% Pb. Por debajo aparece la llamada "Deep Copper Zone", que tiene un espesor de 40 metros con una concentración de cobre de >10%.
- Los manantiales producen una nube de partículas finas próximas al fondo oceánico que pueden ser seguidas durante varios kilómetros aguas abajo de su fuente. La deposición de las partículas de su "pluma" incrementa la traza de sedimentación y el contenido de metal del sedimento subyacente.



please note: diagram not to scale

Retos tecnológicos

- Las consecuencias medioambientales de la minería marina y oceánica se desconocen.
- Tradicionalmente, se ha considerado que este tipo de minería resultaría menos dañina que la minería terrestre porque, entre otras razones, se evitaría la formación de aguas ácidas al tener el agua del mar un pH alcalino que neutralizaría cualquier ácido.
- En todo caso, la dinámica ambiental marina es muy lenta.
- Con respecto a la forma de explotación, hoy por hoy no se plantea la realización de grandes excavaciones al estilo terrestre ni la construcción de grandes escombreras, ya que los depósitos se localizan directamente sobre los fondos y sin recubrimientos.
- En cualquier caso, la excavación de, por ejemplo, lavas consolidadas es sustancialmente más cara y compleja que la extracción de sulfuros marinos pobremente consolidados.
- Con respecto a la fauna marina, todavía se estudia como realizar evaluaciones biológicas que permitan determinar la magnitud real de los impactos y la desaparición irreversible de ecosistemas marinos como consecuencia de la actividad extractiva.

Evolución del Derecho Marítimo Internacional

- 1494: División Papal de los Océanos entre España y Portugal.
- Hacia el año 1600, al desconocerse los límites de los Océanos, se instaura la aplicación de la denominada "Libertad de los Mares".
- En 1930, la Liga de Naciones instaura una franja de aguas territoriales de 3 millas a lo largo de la costa.
- Post – Segunda Guerra Mundial:
 - En EE.UU. Truman reclama los recursos hasta una profundidad de hasta 200 m.
 - 1st LOS Conference de 1956 (UNCLOS: United Nations Conference on the Law of the Sea):
 - Se acuerda el denominado "innocent passage" pero no hay acuerdo sobre su anchura.
 - Se proscribieron la piratería y el esclavismo pero se permite la porfía sobre pesca y vuelo.
 - Se permite la explotación de recursos hasta 200 m de profundidad.

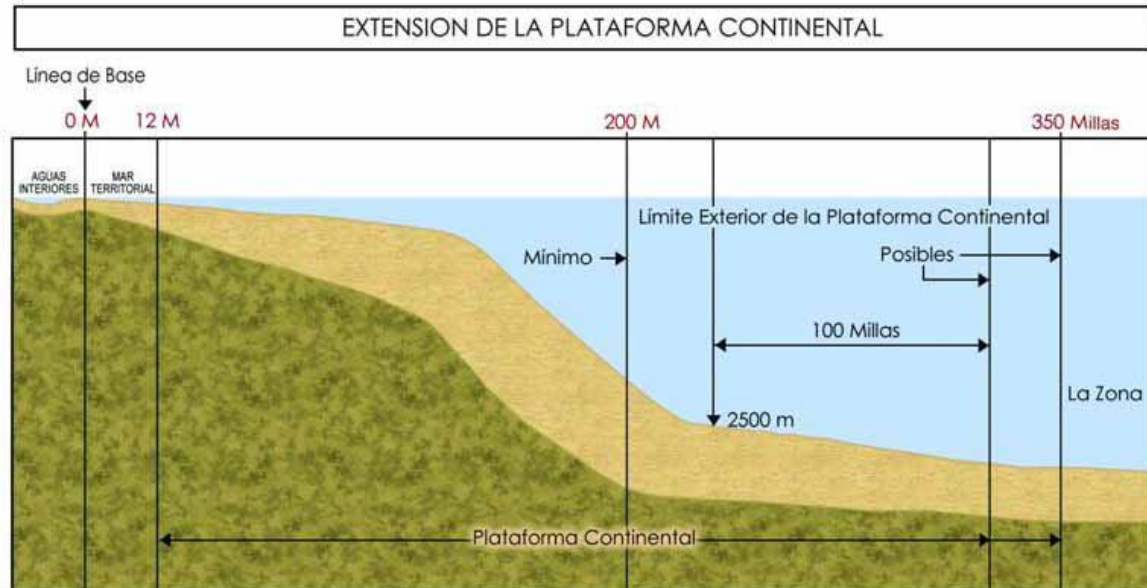
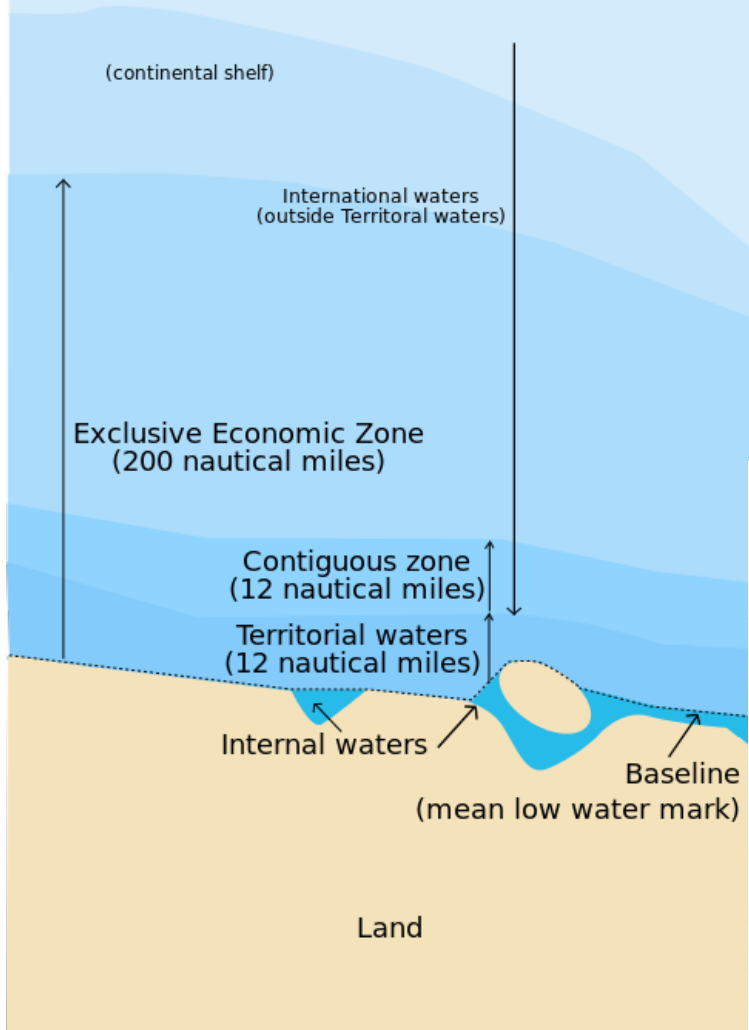


La Convención del Mar de las Naciones Unidas

- La actividad minera en los fondos marinos se encuentra bajo una estricta supervisión internacional en el marco de la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982 denominada como "la Convención" que es la herramienta más importante que gobierna el régimen de los océanos por lo que también se le conoce como "La Constitución del Mar"
- La "Constitución del Mar" regula un amplio elenco de temas, tales como los derechos internacionales de navegación, la piratería marítima, la protección del medio marino, y la jurisdicción sobre los recursos marinos renovables (vivos) y los no renovables (no-vivos).
- Se han descubierto varios tipos de fondos marinos susceptibles a ser explotados, en los que destacan los campos de nódulos de manganeso, los sulfuros masivos y las costras polimetálicas ricas en cobalto.
- Los depósitos minerales bajo el mar suponen el 96% del cobalto, 84% del níquel, 79% del manganeso o el 35% del cobre del total de las reservas estimadas en el planeta.
- Hasta el momento se han puesto en funcionamiento dos reglamentos que regulan la exploración y explotación de los recursos minerales de la Zona, el reglamento de los nódulos de manganeso que rige desde el año 2000 y el reglamento que regula los sulfuros masivos adoptado en el 2010, actualmente se encuentra en debate el reglamento sobre las costras polimetálicas ricas en cobalto.

La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (AIFM)

- La AIFM o ISA por sus siglas en inglés ("Internacional Seabed Authority"), es la entidad gubernamental autónoma establecida en virtud por la Convención de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982 y del acuerdo de 1994 relativo de la parte XI de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar y lo conforman 161 países incluyendo a la comunidad europea.
- La Autoridad es la organización mediante la cual los estados parte organizan y controlan las actividades que se llevan a cabo en fondos marinos y su subsuelo fuera de los límites de la jurisdicción nacional, es decir en la "Zona".
- Dentro de sus competencias esta aprobar las disposiciones, los reglamentos y los procedimientos que en su momento pueda emitir para regular la prospección, exploración y explotación de los recursos en la "Zona".





POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"




CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

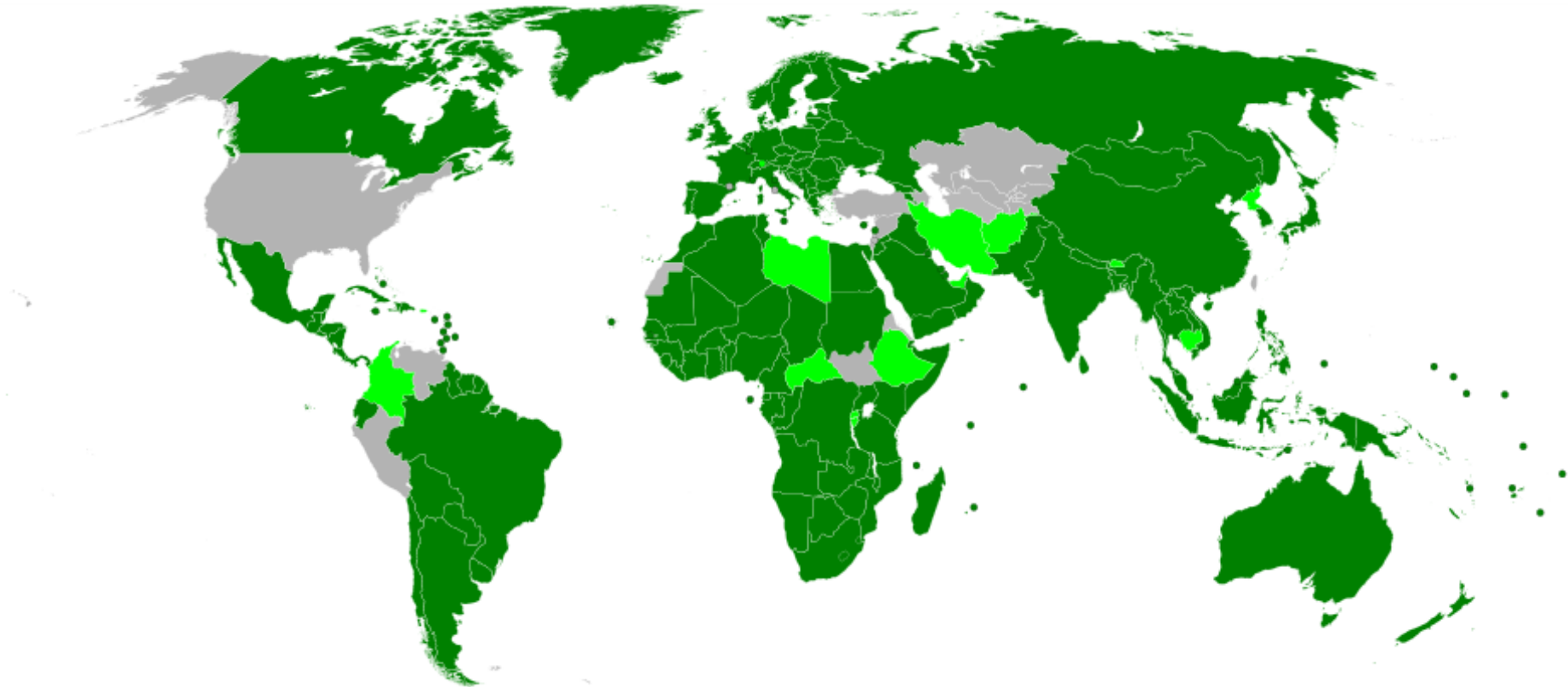


Universidad Politécnica de Madrid



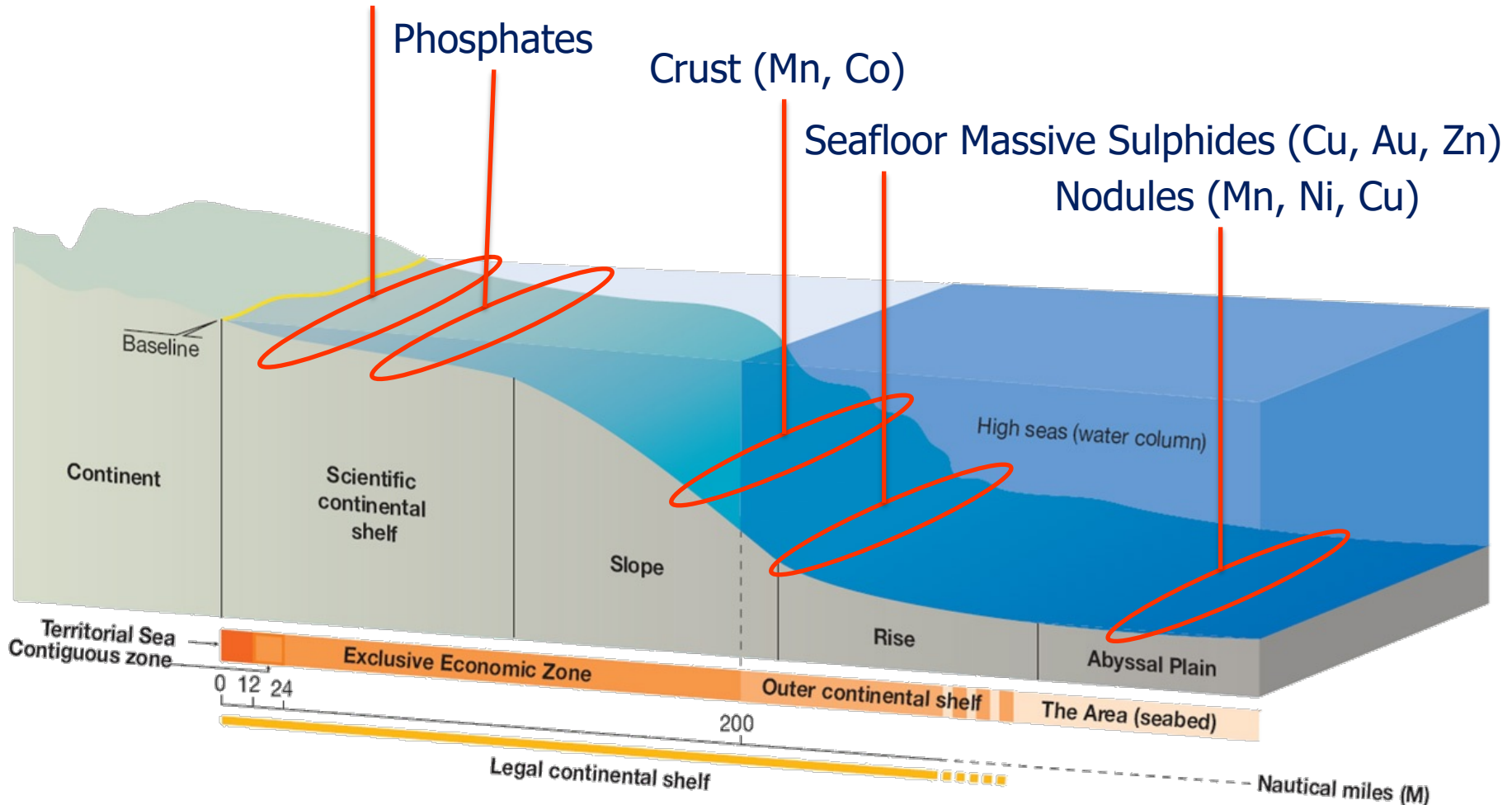
UNCLOS

-  ratified
-  signed, but not ratified
-  did not sign



Heavy minerals are found offshore in relatively shallow water depths

Offshore placers: Diamonds, gold, tin, **heavy minerals (Ti-Zr)**





- Los recursos minerales de la "Zona" están considerados como "patrimonio común de la Humanidad" por la Convención de Naciones Unidas, y como consecuencia de ello, todos aquellos que quieran explotar en dichos fondos oceánicos tienen que pagar unas determinadas tasas por licencias y actividades de explotación.
- Los ingresos por dichas actividades de exploración y explotación en la "Zona" se reinvierten proporcionalmente a nivel global, haciendo particular énfasis en las necesidades de los países en desarrollo y de aquellos sin costa, ya que estos no tienen acceso a los recursos marinos.
- La importancia de la AIFM estriba en que regula tres veces la suma de las jurisdicciones marinas de todos los países del mundo. Es una organización autónoma que tiene un acuerdo de relación con las Naciones Unidas. Su sede se encuentra en Jamaica.
- Entre sus principales actividades está también la actividad científica sobre temas relacionados con los Fondos Marinos, para lo que dispone de un Fondo Científico destinado sobre todo a investigadores de países en desarrollo.
- La AIFM regula las normas de investigación, exploración y explotación de los recursos minerales submarinos de la "Zona".



- Se han descubierto varios tipos de fondos marinos susceptibles de ser explotados a efectos de extracción de minerales, entre los que podrían destacarse los campos de nódulos de manganeso, los sulfuros masivos y las costras polimetálicas ricas en cobalto.
- En todos ellos, los porcentajes de concentración de elementos valiosos como el oro, la plata, níquel, cobalto, platino o tierras raras son en algunos casos muy altos, entre dos y tres veces superiores a la concentración encontrada en las explotaciones mineras de tierra firme.
- Por poner algunos ejemplos significativos, los depósitos minerales bajo el mar suponen el 96% del cobalto, el 84% del níquel, el 79% del manganeso o el 35% del cobre del total de las reservas estimadas en el planeta Tierra.
- Hasta el momento, únicamente se han puesto en funcionamiento dos reglamentos que regulen la exploración y explotación de los recursos minerales de la Zona:
 - Por una parte, el reglamento sobre los campos de nódulos de manganeso, que lleva en vigor desde el año 2000.
 - Por otra, el adoptado recientemente en el año 2010 por todos los Estados que componen la AIFM, y que regula la minería submarina de sulfuros masivos. Actualmente, se encuentra en debate el reglamento sobre costras polimetálicas ricas en cobalto, ubicadas principalmente en montes submarinos



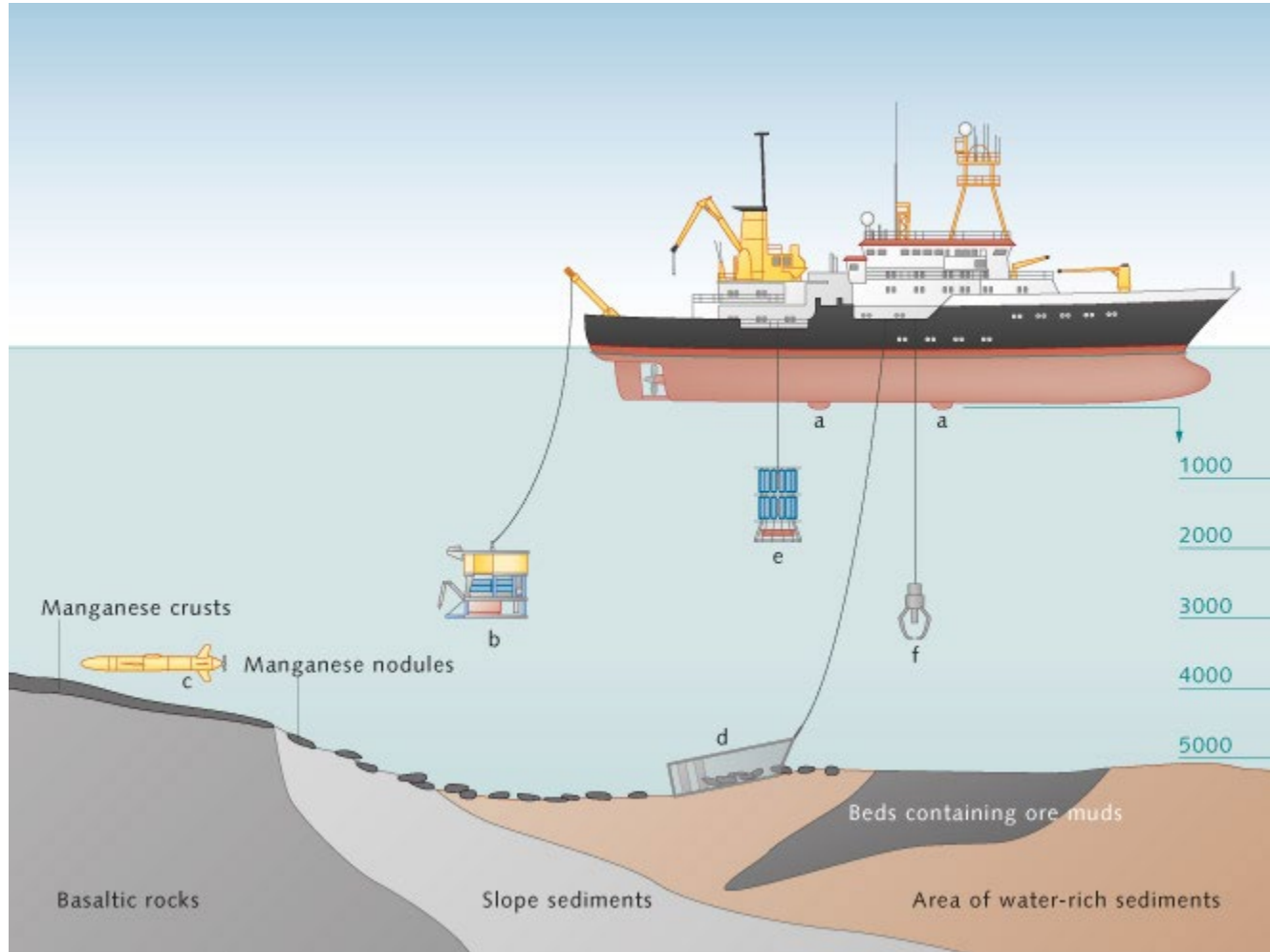
- La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA) tiene prevista la elaboración en los próximos meses de la regulación de la extracción en aguas internacionales, una legislación que previsiblemente servirá de base para la regulación de cada país sobre sus propios recursos.



A wide variety of instruments is used to explore the sea floor in the search for resources.

- a) depth profile of the sea floor is produced using an echo sounder.
- b) Remotely-operated vehicles (ROVs) are equipped with cameras and grabbing arms. These are used to produce images of the sea floor and collect rock samples.
- c) Autonomous underwater vehicles (AUVs) can dive down to the sea floor. They are equipped with echo sounders and various measurement sensors, and return to the ship after a deployment of about 20 hours.
- d) Large samples are collected by a dredge towed behind the ship as it can hold more material than a grab sampler.
- e) Multirosettes are used to take water samples at different depths and to measure physical and chemical parameters.
- f) Individual bottom samples, including small boulders, can be collected by grab samplers deployed directly from the ship. These instruments are equipped with cameras to facilitate underwater orientation.

Exploring the sea floor

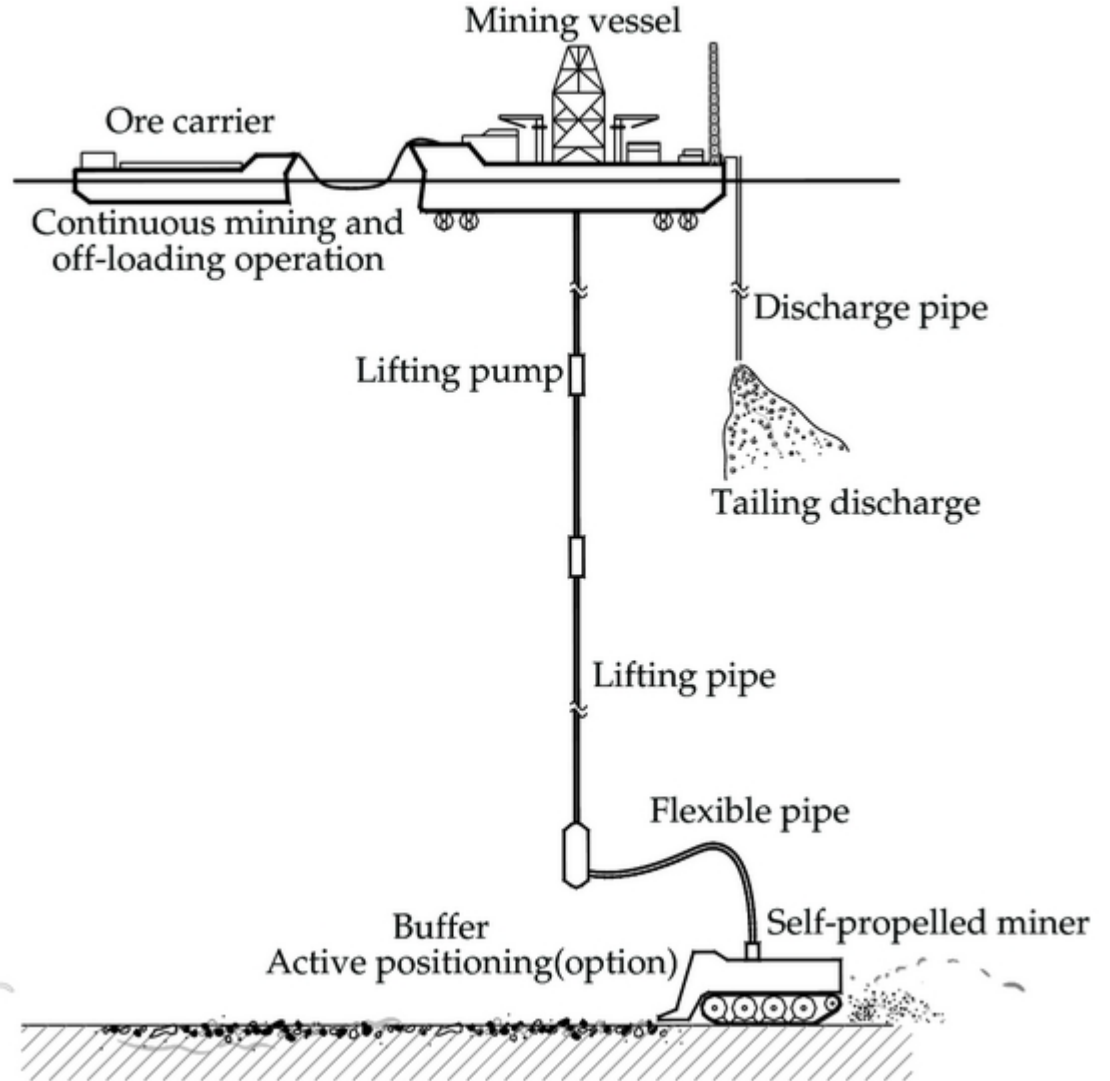
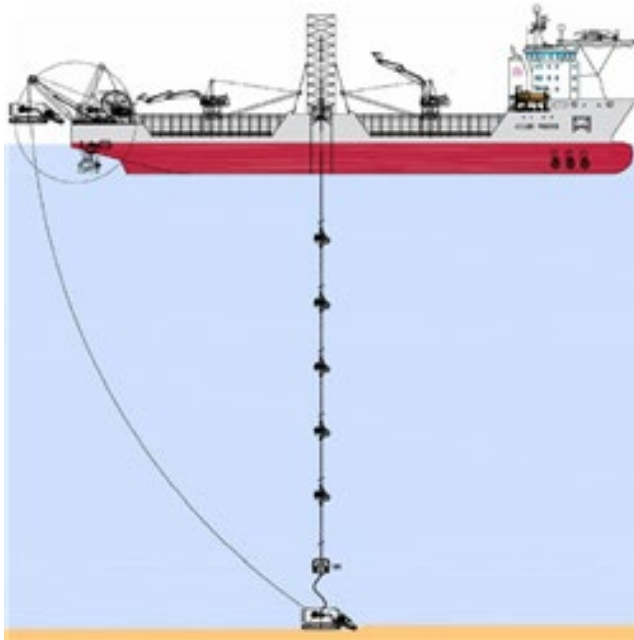




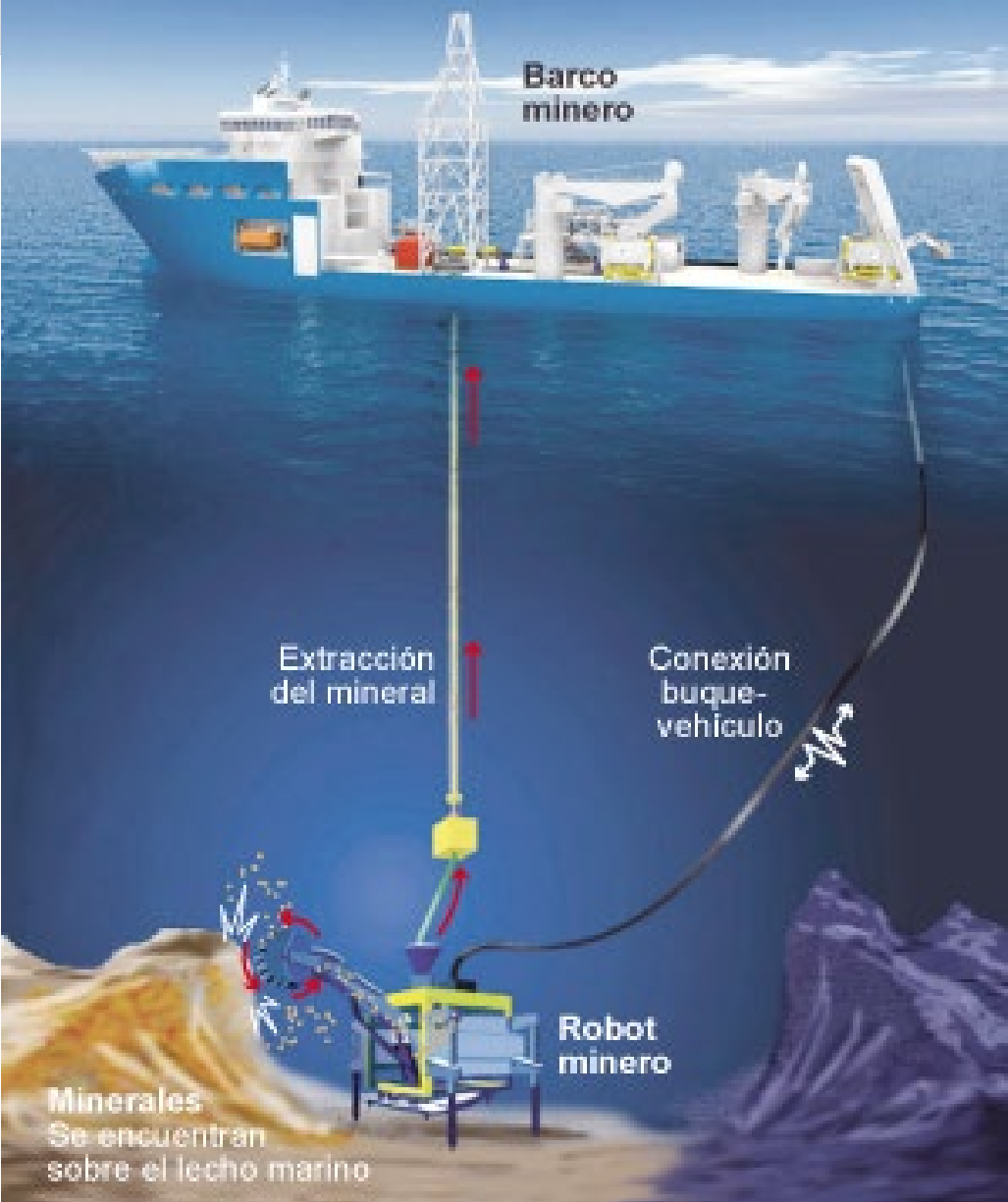
Ventajas e inconvenientes de la minería submarina

- **Ventajas:**
 - Tecnología robótica para la exploración y explotación.
 - Mínimo arrojado de residuos ó desechos.
 - Poca interacción con comunidades y ciudades.
 - Seguridad de trabajadores.
 - No uso de explosivos.
 - Alta concentración de leyes de mineral.
 - Poca Infraestructura para desarrollar el proyecto.

- **Inconvenientes:**
 - Tecnología para la explotación aún en desarrollo.
 - Extracción a baja escala.
 - Impactos ambientales significativos sobre el área de extracción.
 - Poca investigación sobre los riesgos de la minería en los lechos marinos.
 - Se realiza a profundidades mayores a 1500 m.
 - Áreas reducidas para la prospección y exploración y limitadas a las llamadas parcelas, que son otorgadas por la AISM.
 - Altos costes de exploración.



LA MINERÍA SUBMARINA



Minería submarina de nódulos de manganeso y sulfuros masivos

- El reglamento sobre la exploración de nódulos de manganeso conlleva la petición de un periodo de 10 años de exploración de parcelas submarinas con una superficie máxima de 150.000 km².
- Estas parcelas de exploración son adjudicadas previamente por la AIFM a consorcios constituidos por organismos estatales de investigación y empresas, coordinados por uno o varios Estados que hayan ratificado la Convención y que presenten un plan científico y técnico viable.
- Los solicitantes de permisos de exploración deben pagar 250.000 dólares a la AIFM. El ingreso por dichas actividades se reinvierte principalmente en cursos de formación y educación de investigación en países en vía de desarrollo.
- Hasta el momento, las parcelas de exploración adjudicadas corresponden principalmente al área de "Clarion-Clipperton", al Oeste de los EE.UU. En el océano Pacífico. Los consorcios presentados están compuestos por grupos de países como Polonia, Rusia y Cuba, China, India, Corea del Sur, Alemania y Francia.
- Al cabo de 10 años de la adjudicación de dichas parcelas de exploración, los Consorcios deben presentar un plan de viabilidad para su posible explotación, incluyendo completos informes sobre impactos medioambientales, medios de extracción, etc.



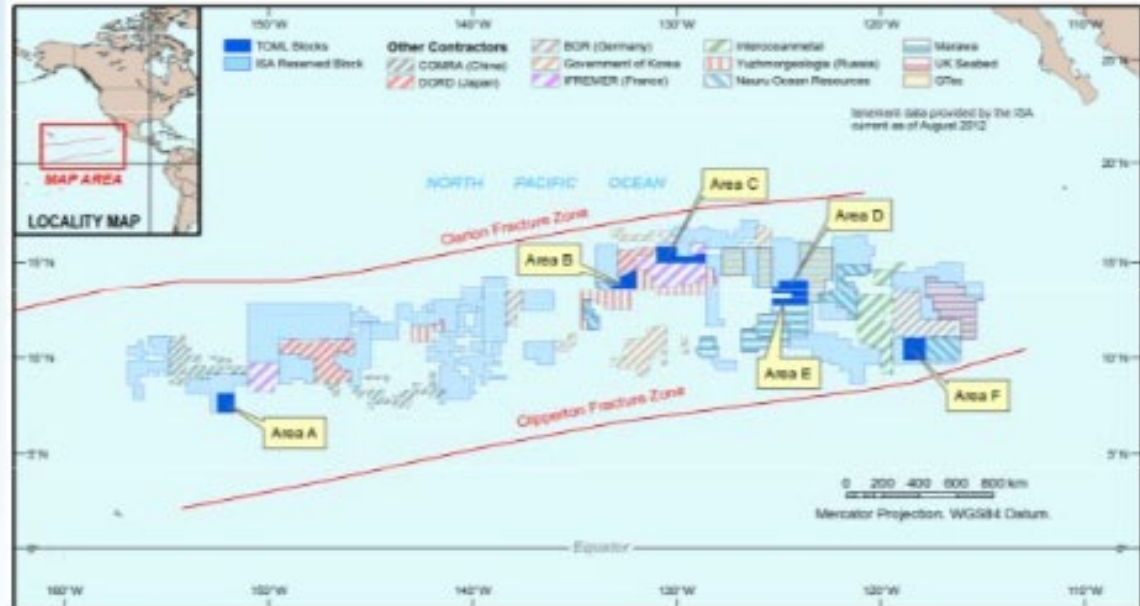
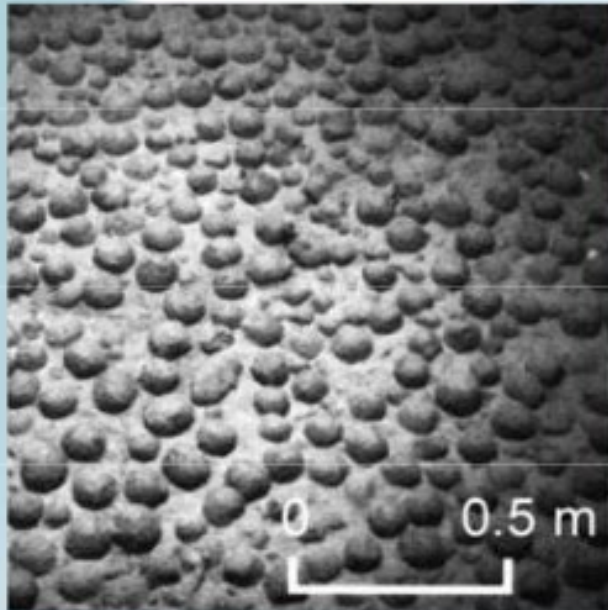
- Hasta el momento, la AIFM no ha adjudicado ninguna parcela para la explotación industrial de los campos de nódulos polimetálicos explorados.
- En el año 2010, la AIFM aprobó en su 16º periodo de sesiones, y tras un largo debate de años, la adopción del Proyecto de Reglamento sobre prospección y exploración de sulfuros polimetálicos en la "Zona":
 - La superficie máxima de exploración de las parcelas es de 10.000 km² y los solicitantes deben pagar a la AIFM 500.000 dólares, cuyo pago puede ser fraccionado.
 - La duración de los contratos es de 15 años y pueden prorrogarse por periodos de cinco años, si así lo pide el contratista y la AIFM lo autoriza.
 - Dado que se pueden encontrar sulfuros masivos a 1.500 metros de profundidad o incluso menos (similar a algunas extracciones actuales de hidrocarburos), la profundidad de trabajo y la tecnología requerida para la exploración y explotación de sulfuros masivos es menor que en el caso de los nódulos de manganeso.
- Todas las zonas de sulfuros masivos aprobadas por el reglamento se concentran en los océanos Atlántico, Pacífico e Índico.
- Los primeros países en interesarse en dichas parcelas de sulfuros masivos han sido China, Rusia y la India. En este sentido, China ha comunicado a la AIFM su intención de realizar una petición de licencias para la exploración de una amplia zona localizada al suroeste del océano Índico, reservándose de este modo, los futuros derechos de explotación cuando la comunidad internacional lo permita.



Minería submarina de oro en aguas jurisdiccionales de los Estados

- Papúa-Nueva Guinea, en el océano Pacífico, es el primer Estado que ha concedido permiso para la explotación minera en fondos marinos profundos en sus aguas jurisdiccionales. El proyecto, desarrollado por una compañía minera canadiense llamada Nautilus Minerals, va a explotar a 1.600 metros de profundidad un yacimiento de sulfuros masivos ricos en oro y cobre.
- El gobierno dio derecho exclusivo por 20 años para importar y construir el equipo necesario para extraer, procesar y vender los minerales extraídos.
- La concesionaria calcula que el yacimiento es de 2,2 millones de toneladas, de las cuales 870,000 toneladas tienen un 6,8% de cobre y 4,8 gramos por tonelada de oro, entre otros metales de interés económico. Se trata de un depósito de sulfuros polimetálicos.
- Se trata de la primera mina submarina a gran profundidad.
- Desde hace algunas décadas existen minas de oro, casiterita o diamantes que explotan depósitos de placeres en áreas menos profundas (hasta unos 150 metros) en las costas de Sudáfrica, Namibia y el Este asiático. Pero este proyecto denominado Solwara1 representa un gran reto tecnológico y medioambiental.

Nodule License



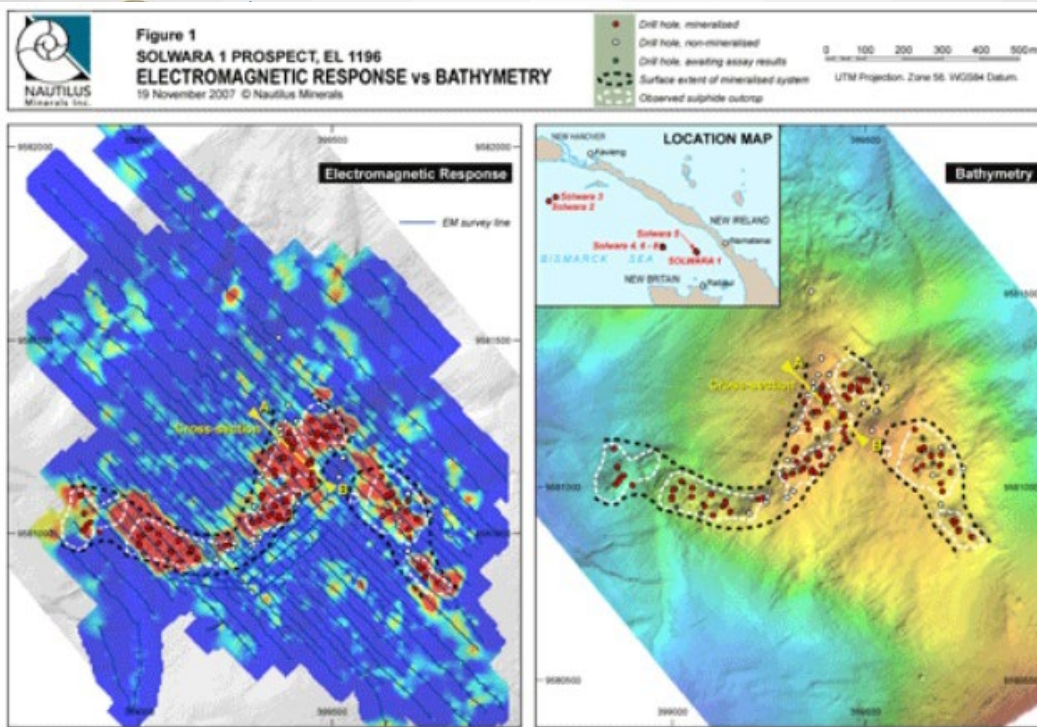
- NI43 101 resource
410 million tonnes @ 1.2% Ni, 1.1% Cu, 0.24% Co, and 26.9% Mn*
- Nodules lie on the seafloor at depths starting at 4,500 metres
- Sponsored by Tongan Government
- Planning underway to upgrade a significant portion of inferred resource to indicated to move to scoping/prefeasibility studies

* Resource prepared by Matthew Nimmo, Principal Geologist, Golder Associates Pty Ltd, a member of the Australian Institute of Geoscientists and a qualified Person under NI43-101



- la tecnología necesaria "se está desarrollando a muy buen ritmo" y varios países europeos "como Bélgica o Alemania, y también Japón, Corea del Sur y China han hecho enormes avances y ya se están probando prototipos de extracción y adaptando buques mineros".

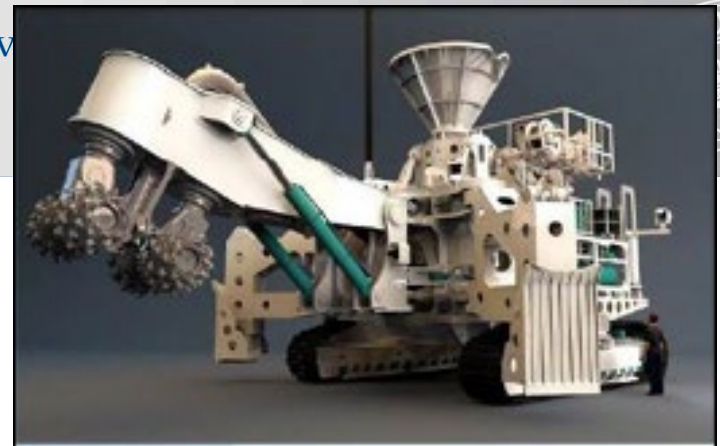
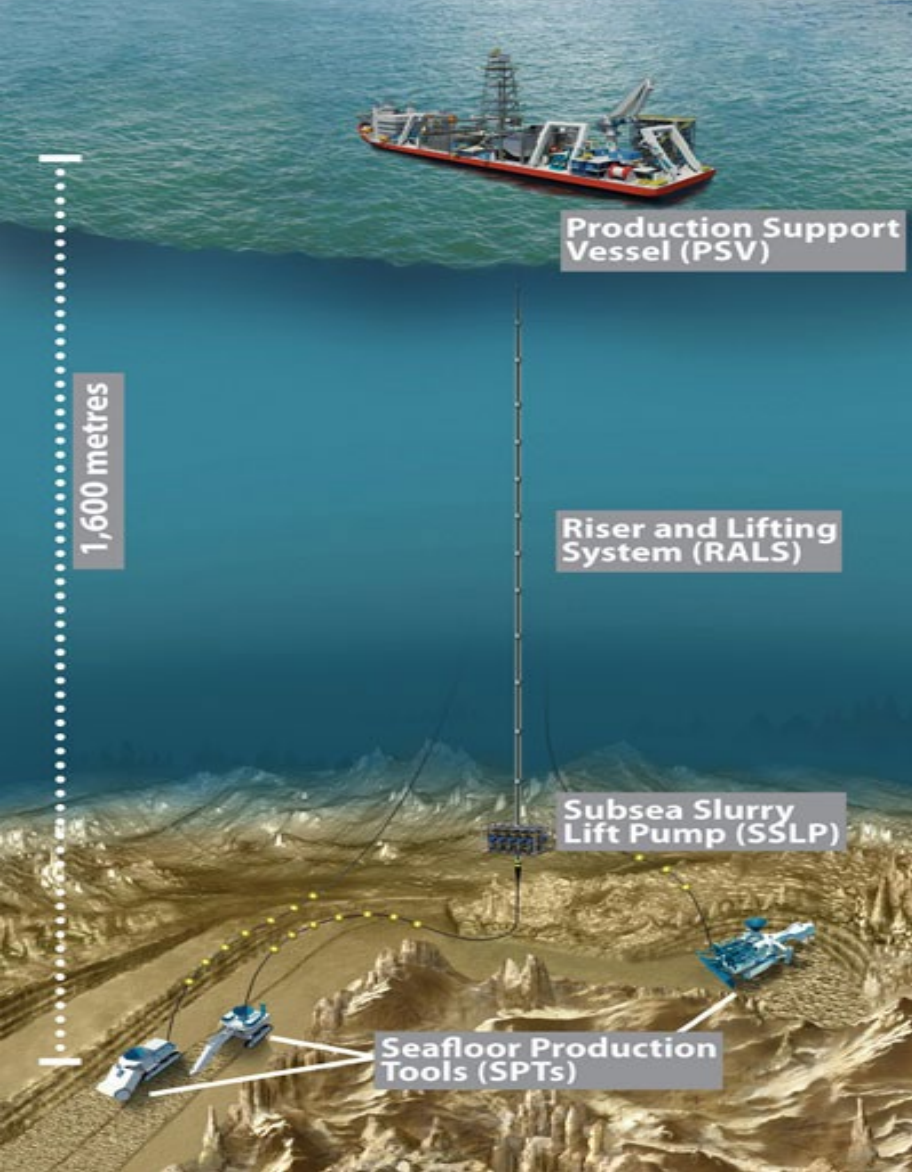
Proyecto Solwara I



- Se van a utilizar robots submarinos que arrancarán el mineral de las zonas del fondo con chimeneas hidrotermales y mayor concentración de metales.
- Después, el mineral se transportará por tuberías aspiradoras a los buques mineros de la superficie para su tratamiento metalúrgico. Todo ello procurando realizar el menor impacto ambiental y la recuperación posterior de los ecosistemas de las áreas explotadas.
- En estos momentos existen proyectos de exploración de sulfuros masivos, cobre, oro, zinc o plata en los fondos marinos profundos de otros países como son Nueva Zelanda, las Islas Solomon, Fiji o Tonga.
- A raíz de este primer permiso minero submarino y de la aprobación del reglamento de la AIFM sobre sulfuros masivos, se ha abierto un amplio debate sobre el equilibrio entre la explotación de recursos minerales submarinos, como última reserva de la Humanidad, y la necesidad de preservar los ecosistemas submarinos más extremos

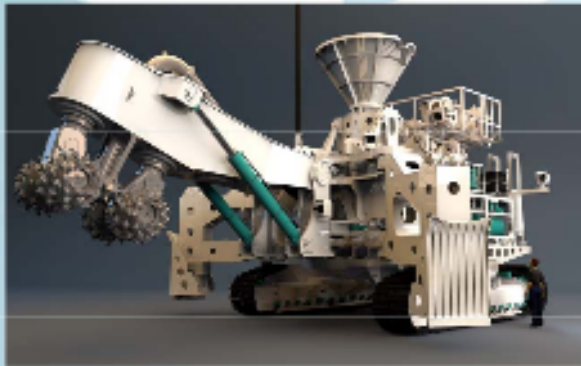
Seafloor Production System

Univ



Seafloor Production Tools (SPTs)

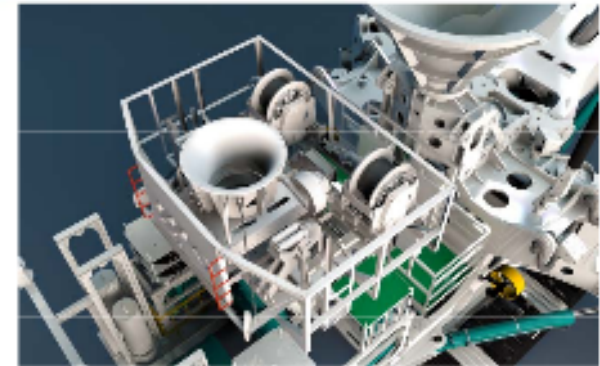
75 % complete



Auxiliary Cutter

Length:	15.8 m
Width:	6.0 m
Height:	7.6 m
Boom swing:	11.6 m
Boom cutting:	+4 -1.0 m

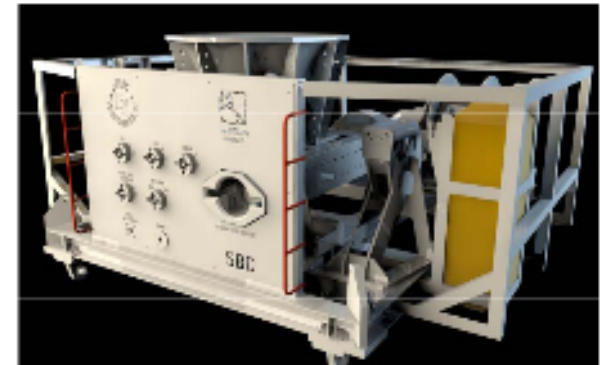
In fabrication



Bulk Cutter

Length:	14.2 m
Width:	4.2 m
Height:	6.8 m
Cutter Width:	4.2 m
Cutting Height:	+4 -0.5 m

In assembly



Collecting Machine

Length:	16.5 m
Width:	6.0 m
Height:	7.6 m
Collection Range – height:	-2 m +5 m
Collection Range – Width:	+ 4 m

In fabrication





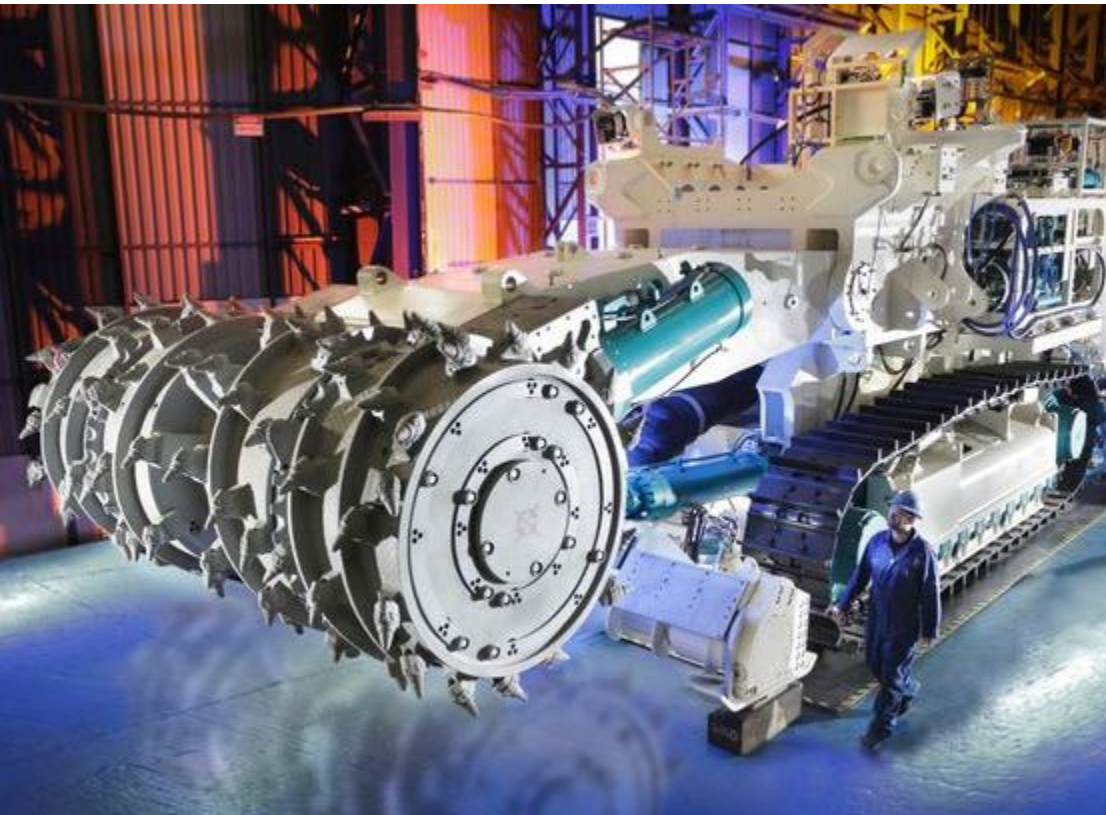
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

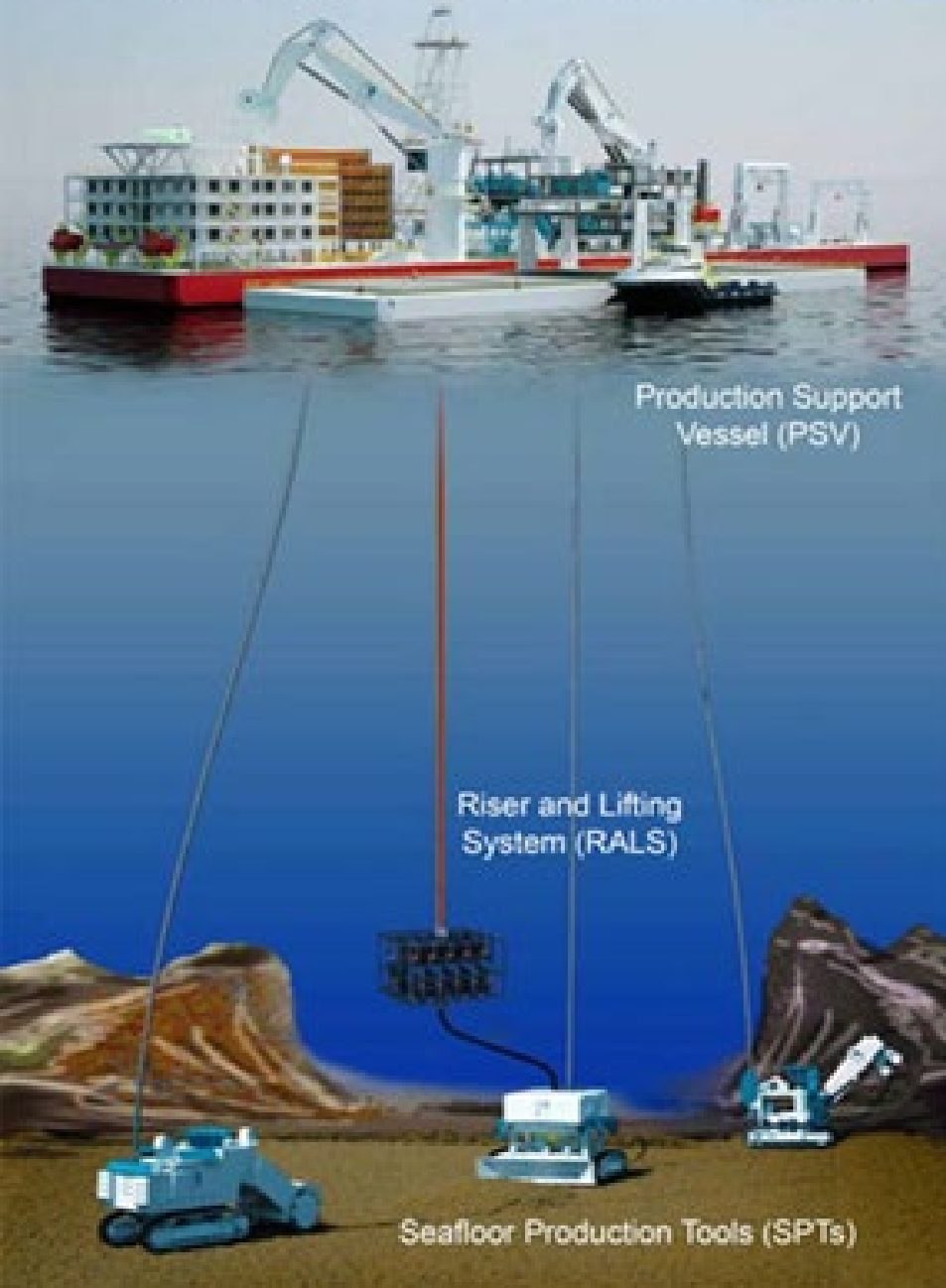
CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



Uni



Seafloor Resource Production System





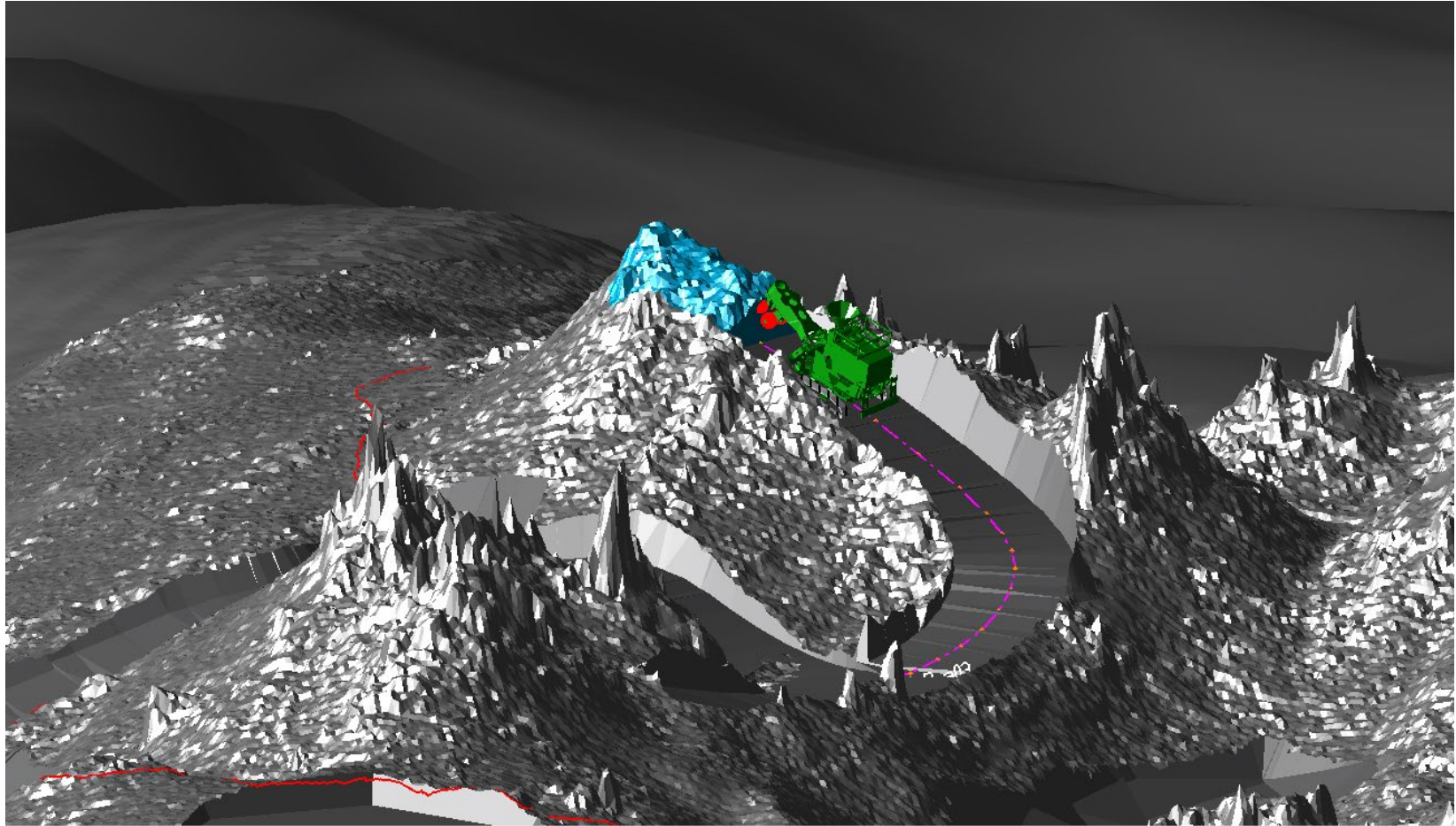
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



Case Study: MINDeSEA Project



<https://geoera.eu/projects/mindesea2/>

- Seabed Mineral Deposits in European Seas: Metallogeny and Geological Potential for Strategic and Critical Raw Materials (MINDeSEA)
- The project MINDeSEA results of the collaboration between eight GeoERA (*) Partners and four Non-funded Organizations at various points of common interest for exploration and investigation on seafloor mineral deposits.
- This project addresses an integrative metallogenetic study of principal types of seabed mineral resources (hydrothermal sulfides, ferromanganese crusts, phosphorites, marine placers and polymetallic nodules) in the European Seas.
- The importance of submarine mineralisation systems is related to the abundance and exploitation-potential of many strategic metals and Critical Raw Materials (CRM), necessary for the modern society development.

(*) Establishing the European Geological Surveys Research Area to deliver a Geological Service for Europe





- The objectives of this project are the following:
 - 1) Characterise deposit types;
 - 2) Characterise the trace element content of the deposit type including CRM;
 - 3) Identify the principal metallogenic provinces;
 - 4) Develop harmonised mineral maps and datasets of seabed deposits incorporating GSO datasets, along with mineral-potential and prospectivity maps;
 - 5) Demonstrate how the cases study results can be used in off-shore mineral exploration;
 - 6) Analyse present-day exploration and exploitation status in terms of regulation, legislation, environmental impacts, exploitation and future directions.
 - 7) Demonstrate efficiency of a pan-European research approach to understanding seabed minerals and modes of exploration.
- The methodology will include:
 - procedures for submarine minerals exploration;
 - mineral evaluation and seafloor minerals mapping;
 - a web service that will disseminate procedures, maps and information to the general public, downstream users and decision makers.



Case Study: Tropic

- En verano de 2022, el Gobierno español se posicionó con los países que piden más tiempo a la ISA para aprobar la legislación sobre minería submarina, hasta calibrar los efectos en el medio ambiente, en sintonía con la posición de las organizaciones ecologistas, que defienden que la extracción de recursos submarinos tendría "consecuencias devastadoras para los ecosistemas marinos".
- En esta línea, apoyó una propuesta de Chile, secundada por países como Costa Rica y Brasil, para tratar de frenar la legislación que permitiría la concesión de los primeros permisos de explotación en 2023.
- Aunque hay varias zonas con posibles yacimientos en territorio español, serían especialmente ricos en minerales críticos los montes submarinos en torno a las islas Canarias.
- el Tropic no es el único volcán submarino rico en recursos: en torno a las islas y ya en territorio inequívocamente español hay otros montes de dimensiones similares menos estudiados pero que tendría características parecidas y que serían ricos en codiciados recursos para la transición energética como tierras raras, cobalto, níquel, platino y el ya mencionado telurio. En su día, se llegó a publicar que el Tropic podría albergar el mayor yacimiento del mundo.



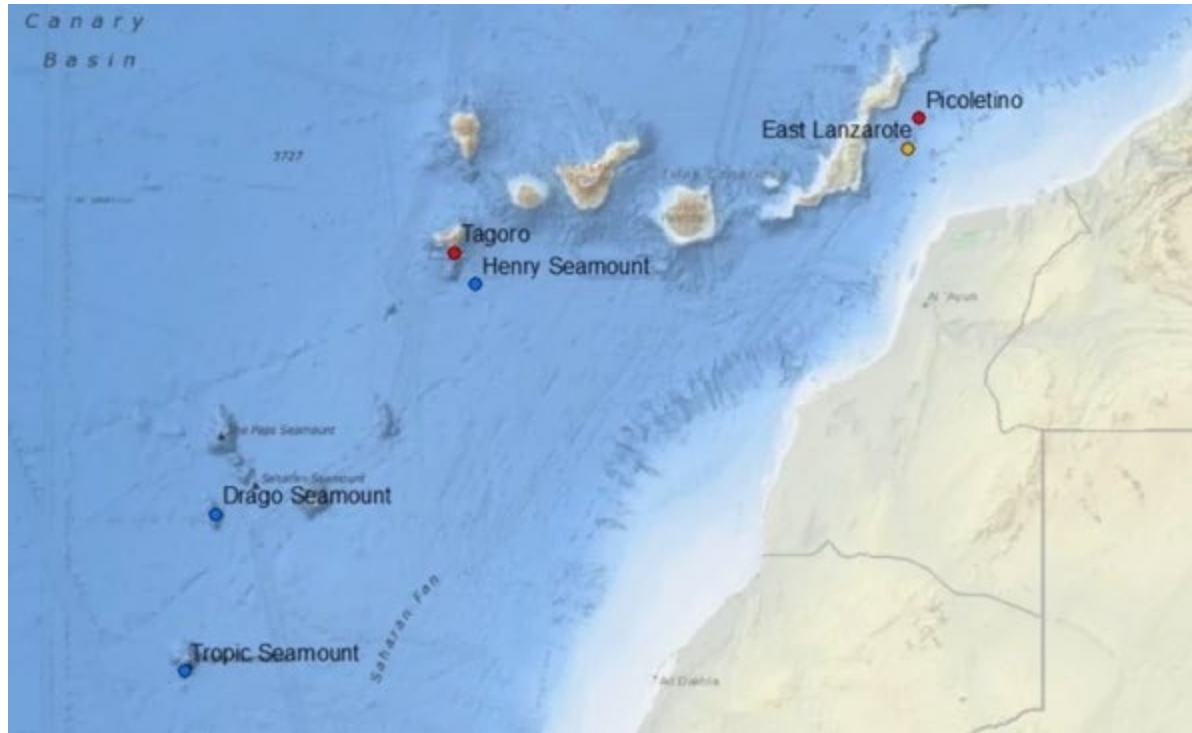
POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid





POLITÉCNICA

"Ingeniamos el futuro"

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



Universidad Politécnica de Madrid



Dudas y preguntas

