

ROBÓTICA SUBMARINA

Trabajo Teórico Robots Móviles



Javier Martí Martínez

48786069X

ÍNDICE

Descripción de la Robótica Submarina y los aspectos que ocupa

Introducción. (pág 2)

Clasificación. (pág 3)

Aplicaciones. (pág 14)

Ejemplos de robot. (pág 16)

Planificación de trayectorias para vehículos submarinos con ROS

Introducción. (pág 20)

Estado del arte (pág 22)

Posible uso de la aplicación (pág 24)

Referencias y Bibliografía (pág 25)

Descripción de la Robótica Submarina y los aspectos que ocupa

Introducción.

Como todos sabemos, más de dos tercios de la tierra está cubierta por agua. El océano permite el transporte de personas, productos y materias primas entre países, que no solo son una fuente importante de alimentos y otros recursos (como el petróleo y el gas), sino que también tienen un papel fundamental en el medio ambiente y el clima.

Debido a la aparición de nuevas tecnologías, la comprensión del océano profundo está creciendo. Sin embargo, sólo conocemos el 5%. La primera exploración científica submarina se realizó, en 1960 con el Batiscafo Trieste^[1], utilizando vehículos submarinos operados por humanos desde el interior. En los últimos años, debido a la aparición de robots submarinos, ha comenzado una revolución en el campo de la exploración de los fondos marinos.

Por lo general, proporciona mejor información a un costo menor. Por otro lado, además de intervenir en desastres ambientales como fugas de equipos petroleros, también permitieron operar en aguas profundas.

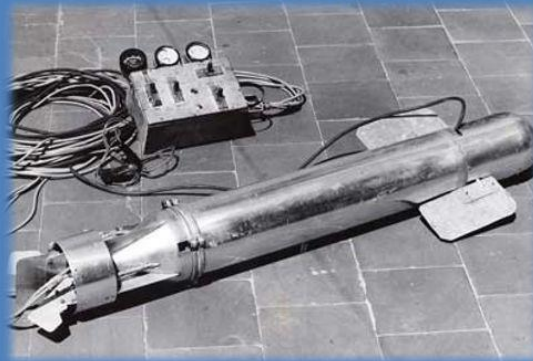
La historia de los robots submarinos comenzó a principios de la década de 1950 con la construcción del robot submarino de control remoto POODLE desarrollado por Dimitri Rebikoff en Francia. Desde entonces, se han desarrollado varios robots automáticos y de control remoto.

History

Dimitri Rebikoff –
inventor / oceanographer



Poodle - First ROV 1953



[1]

Figura 1: Rebikoff y el POODLE

Clasificación.

Los robots submarinos se pueden clasificar por su nivel de autonomía, el tipo de misión a realizar y su sistema de propulsión.

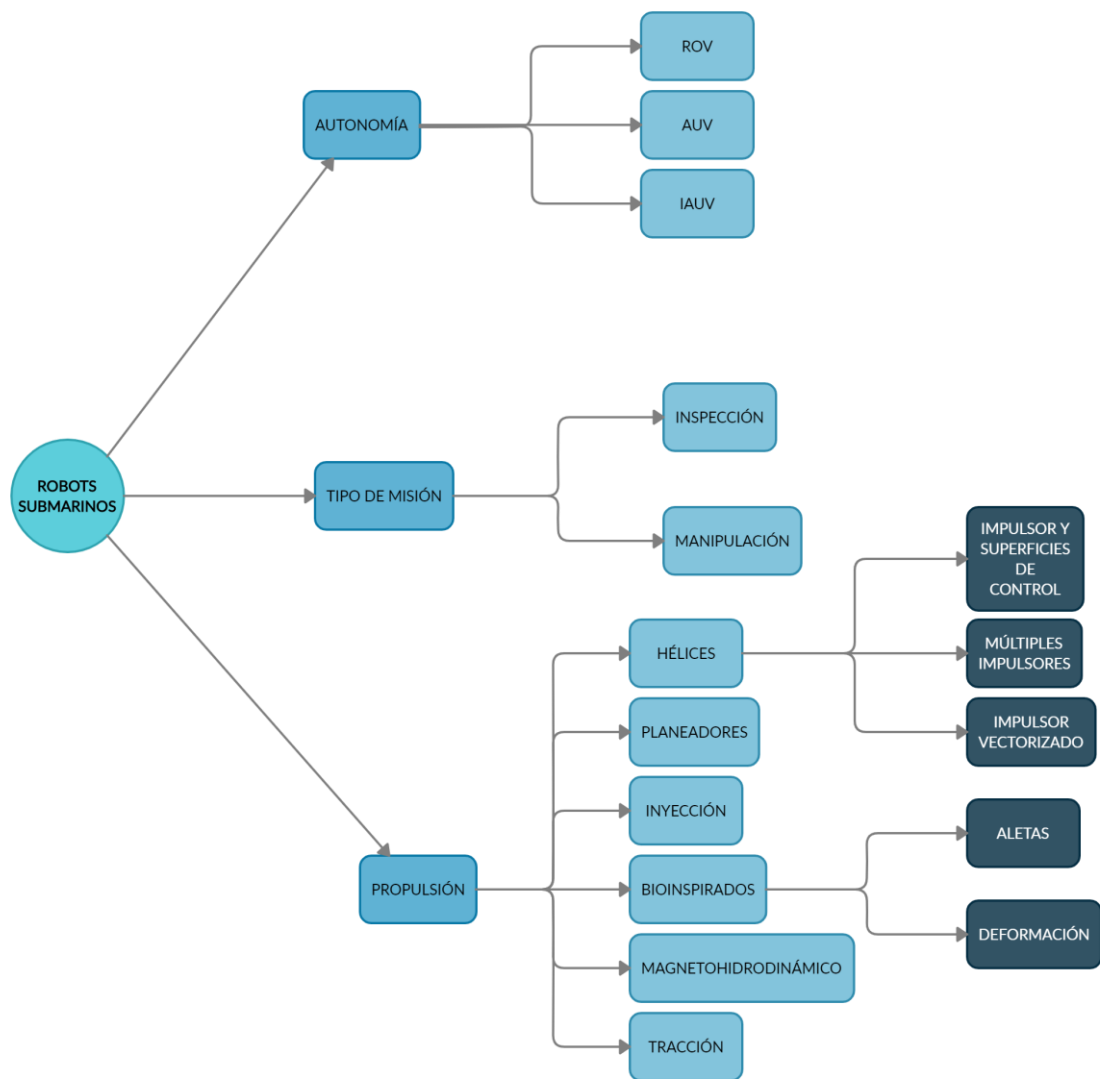


Figura 2: Clasificación de los robots submarinos

El principal método de clasificación de los robots submarinos se basa en su grado de autonomía. Hay robots AUV, Autonomous Underwater Vehicle, totalmente autónomos y otros robots que deben ser controlados continuamente por el operador ROV, Remote Operated Vehicle. Por otro lado, está IAUV, Intervention AUV, que se puede considerar como un nivel intermedio de autonomía. El objetivo final de estos robots es volverse completamente autónomos, y sólo los operadores pueden definir tareas al principio a través de comandos de alto nivel.

Además, podemos clasificar a los robots según el tipo de tareas que deben realizar. Estos pueden ser inspección (u observación) o manipulación (o intervención). La principal

diferencia entre estos tipos es que los robots pertenecientes al primer grupo deben tener herramientas o brazos robóticos. Las tareas a realizar definirán los tipos de sensores, actuadores y estructuras que debe tener el robot.

El sistema de propulsión de un robot submarino define los tipos de movimientos y manipulaciones que puede realizar el robot. El sistema de propulsión también afecta el consumo de energía, que es crucial para las tareas submarinas, el hardware del robot y el impacto del robot en el entorno marino. Los principales sistemas de propulsión son hélices de hélice, planeadores basados en sistemas de lastre y de aletas y hélices de inspiración biológica. En la etapa experimental o la tecnología no está lo suficientemente madura se encuentran las basadas en la inyección de agua y la magnetohidrodinámica. Otro sistema de propulsión es el remolque con el fondo marino o con otras superficies como el casco.

Clasificación según tipo de misión

Los robots submarinos están diseñados para realizar tareas bajo el agua, estas tareas se pueden realizar durante la navegación o al llegar a una posición previamente fija a través de algún tipo de manipulador. Desde esta perspectiva, los robots pueden realizar dos tipos de tareas.

Misiones de inspección

Son tareas que se realizan durante la navegación de robots submarinos. En tales tareas, no es necesario un brazo manipulador, ni un mecanismo para interactuar con el entorno. Una tarea de inspección puede incluir: usar una o más cámaras para adquirir imágenes mientras el robot navega en el agua, observar el lecho marino, adquirir datos del mapeo acústico o de la calidad del agua e inspeccionar las instalaciones. Submarinos, como estructuras metálicas, tuberías, cables, etc.

Misiones de manipulación

Son aquellas tareas de robots submarinos que intervienen en brazos o herramientas robóticas. Para el desarrollo de estas tareas, en el caso de utilizar ROV, debe existir un sistema de visión en tiempo real que proporcione a los operadores imágenes en tiempo

real del entorno operativo. Las tareas típicas de procesamiento incluyen el mantenimiento de estructuras submarinas, la apertura y cierre de válvulas en instalaciones submarinas, la desactivación de minas, el montaje y desmontaje de componentes, la recogida de muestras para investigación arqueológica, geológica o ecológica, y la intervención en desastres para controlar la fuga de contaminantes o brindar apoyo para el rescate de personal.

Clasificación según autonomía

Robots submarinos operados remotamente. ROVs

El robot submarino del vehículo controlado a distancia (ROV) está conectado al suelo a través de un cordón umbilical (un conjunto de cables conectados), de modo que pueda intercambiar datos y alimentar el robot. A través de la interfaz gráfica de la computadora en tierra, el usuario puede definir los comandos que debe ejecutar el robot. A su vez, el ROV envía señales (presión, temperatura, imágenes, etc.) desde sus sensores a las computadoras en el suelo para que los usuarios puedan comprender el estado del robot y su entorno circundante.

Actualmente, ROV brinda servicios para instalaciones de petróleo o gas. Según las necesidades, el trabajo realizado en la estructura submarina es muy exigente y requiere que se realicen inspecciones e intervenciones frecuentes para realizar operaciones de perforación, manipular válvulas, reparar o reemplazar componentes submarinos y realizar diversas tareas necesarias para mantener la productividad y la calidad del producto. A medida que la producción de petróleo y gas de las instalaciones en alta mar se traslade a aguas profundas, aumentará la tendencia a utilizar ROV.

Al realizar tareas a grandes profundidades, la resistencia impuesta sobre la superficie del cable es mayor. Esto reduce la capacidad de conducción del vehículo.

Aunque el diámetro del cable ha aumentado (debido a los mayores requisitos de energía), el aumento en la superficie de impacto de la fuerza de arrastre es en gran parte producto de su mayor longitud.

Sin embargo, se han propuesto algunas soluciones, como construir un sistema de gestión de cables (TMS, abreviado como Tether Management System) anclado en segundo plano. También admite la tracción de cables de mayor distancia (el cable desde la embarcación de superficie al TMS), al tiempo que permite que el ROV navegue con mayor facilidad.

Robot submarino autónomo, AUV

Los vehículos submarinos autónomos (AUV) tienen una arquitectura de control que les permite realizar tareas sin la supervisión del operador. Además, contienen su propia fuente de energía, generalmente basada en baterías recargables.

No suele haber una línea de comunicación entre el vehículo y el suelo porque suele estar programada con tareas y tareas predefinidas. Sin embargo, cuando necesite intercambiar información con la superficie, puede comunicarse a través de equipos acústicos.

Estos robots pueden solucionar las limitaciones de los cables ROV para determinadas tareas. AUV se utiliza actualmente para exploración científica, muestreo de océanos, arqueología submarina y exploración del fondo de hielo. Los datos recopilados por el vehículo se almacenan en su memoria interna para su posterior análisis.

Por otro lado, también se utilizan en operaciones militares, como la detección de minas, y se están desarrollando aplicaciones más complejas, como la vigilancia subacuática.

Para 2008, se estima que habrá alrededor de 200 AUV en uso, muchos de los cuales se llevaron a cabo mediante experimentos. Sin embargo, esta tecnología está madurando rápidamente y algunas empresas ya han proporcionado servicios para este tipo de robots.

Robots submarinos autónomos para intervenciones, IAUV

Los AUV están diseñados para realizar tareas de observación, pero recientemente las personas se han interesado en su capacidad para realizar tareas de manipulación. Esta es la idea del robot submarino de intervención autónoma (IAUV). Con este tipo de robot, la tarea será más económica que el robot que usa ROV, y debido a que IAUV no está restringido por el cordón umbilical, su movilidad también es mayor.

Ejemplos del desarrollo de tales robots incluyen los proyectos ALIVE, SAUVIM y RAUVI. El vehículo ALIVE navega automáticamente hasta el lugar a intervenir, y una vez que llega a la ubicación deseada, cambia su funcionamiento a control supervisor y realiza tareas de procesamiento a través de la comunicación por voz. Por su parte, el robot GIRONA 500 del proyecto RAUVI explora en primer lugar el área de interés y obtiene información sonora y visual del fondo. Posteriormente, el robot sube a la superficie para procesar la información recopilada para reconstruir el área de exploración. A través de la interfaz gráfica de usuario, el operador puede identificar objetos de interés y emitir comandos al robot para que intervenga. Hasta ahora, las pruebas experimentales se han llevado a cabo con éxito bajo la condición de que la tarea del robot sea restaurar la caja negra de la aeronave.

Clasificación según los sistemas de propulsión

El sistema de propulsión es un dispositivo que permite a los robots submarinos avanzar en un entorno acuático. Aquí, los elementos que generan fuerzas y los elementos que controlan la dirección de estas fuerzas se consideran parte del sistema de propulsión. Aunque la mayoría de los sistemas de propulsión de robots submarinos están compuestos por propulsores de hélice, aletas móviles para guiar y sistemas de lastre para las operaciones de gobierno, se han propuesto otros métodos para generar movimiento en el agua, algunos de los cuales se describen a continuación.

Impulsores de hélice

Los sistemas de propulsión por hélice y motor son los más utilizados en la mayoría de los robots submarinos. Por lo general, consta de un motor eléctrico unido a una hélice. Debido a la diferencia de presión resultante, la hélice giratoria produce un efecto de empuje al mover el fluido de adelante hacia atrás.

El modelo matemático del impulsor propuesto es solo un método aproximado para describir su desempeño, porque muchos factores afectarán estos factores, tales como: la forma, diámetro y área de la pala; el área de la tubería; la velocidad de rotación de la hélice; la corriente en el ambiente; la densidad del agua. Viscosidad, etc.

Muchas veces, se utiliza un modelo matemático simple del impulsor en el que la fuerza del impulsor es proporcional al cuadrado de la velocidad angular de la hélice, que a su vez es proporcional al voltaje del motor. La suposición anterior es que la dinámica del impulsor tiene una constante de tiempo mucho menor que la dinámica del vehículo.

Los beneficios que aporta el impulsor de hélice hacen de este sistema de propulsión el sistema más utilizado en los robots submarinos. Sin embargo, estos dispositivos generan mucho ruido en el medio marino, lo que cambia en cierta medida la vida acuática, razón por la cual en algunos robots submarinos se han propuesto otros sistemas de propulsión.

Impulsor y superficies de control.

Este tipo de sistema de propulsión es el más utilizado en grandes submarinos y AUV. Utilizan aletas o timones con un solo grado de libertad para obtener movimientos de cabeceo, giro y balanceo. El sistema es muy simple, pero de muy poca maniobrabilidad, especialmente a bajas velocidades.

Múltiples impulsores

Es el sistema más utilizado en ROV. Implica colocar un cierto número de impulsores para dotar al vehículo del grado de libertad requerido. Aunque los propulsores más importantes que se utilizan para realizar la navegación se encuentran en la parte trasera o lateral del robot submarino, no existen reglas específicas para su posición y dirección. Puede proporcionar seis grados de configuración de libertad para vehículos submarinos como el robot ODIN II.

Esta disposición del impulsor permite que el robot gire por sí solo. Se utiliza principalmente para trabajos de procesamiento e inspección debido a su posicionamiento preciso y control independiente de grados de libertad. El robot submarino que utiliza el sistema de matriz de impulsores suele ser cúbico o esférico y tiene una estructura compacta. La desventaja de esta configuración es el alto consumo de energía debido a la gran cantidad de impulsores.

Impulsor vectorial

La impulsión vectorial es la capacidad de un robot submarino para colocar o colocar el impulsor para controlar su propio movimiento. En un robot submarino con impulsor vectorial, el impulsor se ubica en la parte trasera, similar a un vehículo con impulsor fijo y aletas guía, pero en este caso el impulsor no está fijo, ya que tiene la capacidad de orientarse.

El desarrollo de robots submarinos con unidades vectoriales es relativamente nuevo. En algunos trabajos de investigación se han analizado las características dinámicas de este vehículo y se ha encontrado que presenta grandes ventajas en la navegación y en el guiado de precisión. Se propone un impulsor vectorial en la parte trasera, que permite movimientos de cabeceo y giro a través de una estructura esférica paralela.

Por otro lado, se propusieron AUV SENTRY y Odyssey IV respectivamente. Estos robots tienen impulsores giratorios que pueden controlar simultáneamente su movimiento hacia adelante y su posición vertical. Estos robots se han utilizado con éxito para la exploración submarina.

En 2009 se propone el diseño de un robot submarino, cuyo impulsor se conecta a la cabina a través de la plataforma Stewart-Gough. La ventaja de este robot, llamado Remo I, es que utiliza un solo impulsor, que consume menos energía que un robot con múltiples impulsores. El robot puede controlar la posición y la dirección de la fuerza motriz. Además, debido al hecho de la deformación, el robot tiene capacidad potencial para nadar. Por otro lado, en 2011, se propuso el diseño y modelado del robot Remo II. El sistema de propulsión del robot tiene dos propulsores, uno para cada plataforma, y un giroscopio de control de par.

Planeador acuático (Glider)

El robot deslizante subacuático no tiene propulsión por hélice. Están diseñados para deslizarse desde la superficie del mar hasta una profundidad programada, luego cambiar su flotabilidad y ángulo de inclinación hacia arriba hasta que alcanzan un punto preestablecido, luego descienden nuevamente, y así sucesivamente. El progreso se puede lograr inclinando las aletas, lo que se logra combinando pequeños cambios en la posición y el tamaño de la flotabilidad. El resultado es que el movimiento de

desplazamiento diagonal tiene un consumo de energía mínimo. Durante el recorrido, recopilarán información sobre temperatura, salinidad, corrientes oceánicas y otras medidas. Los esquís acuáticos pueden tener muchas aplicaciones, por ejemplo, el robot Liberdade XRay está diseñado para tareas de vigilancia y localización de submarinos enemigos.

Aunque la velocidad de estos robots es bastante baja y el progreso está inevitablemente relacionado con el movimiento vertical, su estructura también es ideal para los robots AUV dedicados a la observación y medición del océano. El consumo mínimo extiende el tiempo de misión a varios meses y extiende el rango de operación a cientos de kilómetros, lo que reduce en gran medida el costo de monitoreo.

Bioinspirados

Este sistema de propulsión está inspirado en la fisiología de los peces o ballenas y cómo se mueven en el agua. El sistema más simple consiste en aletas con altos grados de libertad, que se colocan vertical u horizontalmente en la parte trasera del vehículo submarino. Su movimiento periódico perpendicular al plano de las aletas generará ondas de agua que empujarán el vehículo hacia adelante. Este movimiento produce empuje en una sola dirección.

El robot nadador Tuna Robot desarrollado por el laboratorio Draper tiene una aleta trasera, que puede mover la aleta vertical de izquierda a derecha, para que el robot submarino pueda navegar. El desarrollo de un modelo matemático basado en la dinámica de un robot similar PoTuna se puede encontrar en el artículo (Kim y Yourn, 2004). Por otro lado, se introdujo la aplicación de SMA en la construcción de un sistema robótico de movimiento de peces.

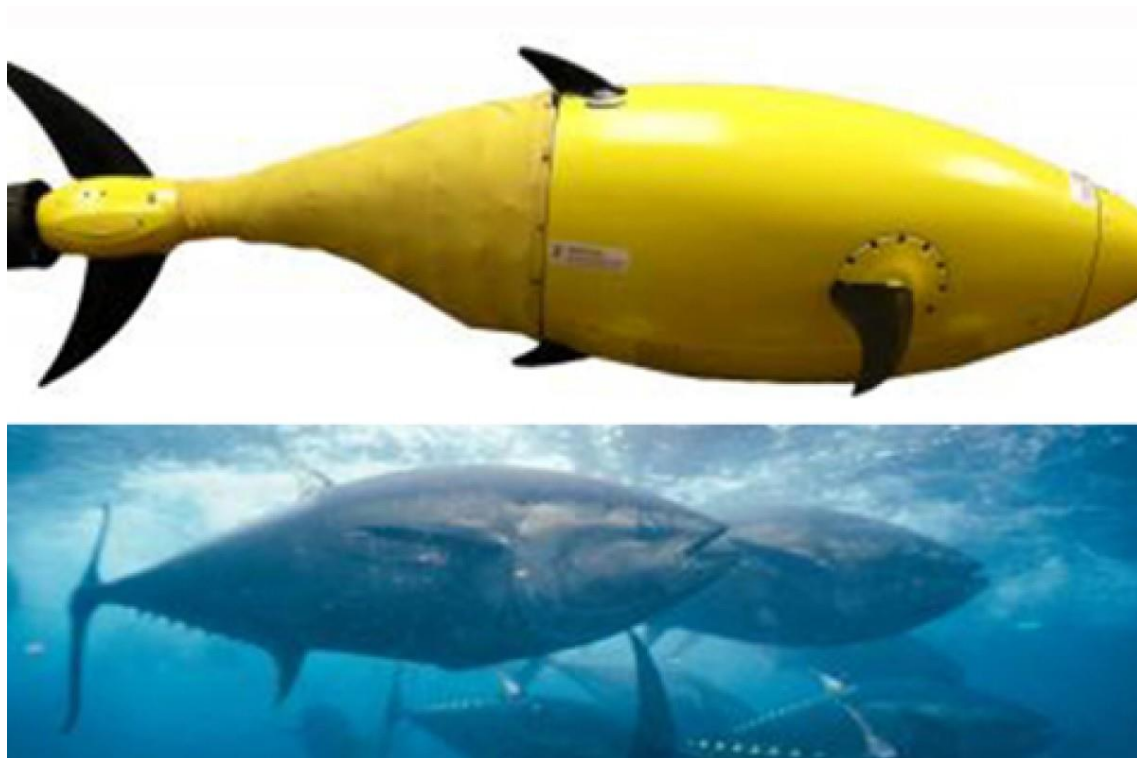


Figura 3: Tuna Robot

En 2009, se propuso el diseño de un robot anguila. Como una anguila, el robot deforma completamente su cuerpo, creando ondas en el agua y empujándose. En el robot de peces, solo se deforma la parte trasera. El robot anguila tiene múltiples vértebras deformables. Estas vértebras constan de mecanismos paralelos con tres grados de libertad.

Otro tipo de vehículo submarino impulsado por deformaciones es un robot submarino desarrollado por la Universidad Tecnológica de Nanyang en Singapur. El robot submarino tiene aletas modulares flexibles que pueden imitar las aletas de los peces rayas. Cada aleta pequeña puede girar en la aleta adyacente conectada a ella para moverse sincrónicamente. Esto crea fluctuaciones que empujan el componente en una dirección.

Otro concepto de navegación deformable es el robot AMOEBOT. Este es un vehículo que se impulsa en el agua a través de una forma corporal en constante cambio (similar al movimiento de una medusa). La navegación del vehículo consiste en inflar y desinflar secuencialmente ciertos globos.

Inyección

La propulsión por inyección consiste en recolectar agua del exterior, luego almacenarla en un tanque de agua y finalmente drenarla a través de una bomba, y luego rociarla en el ambiente acuático a través de una boquilla.

Es una boquilla de descarga de agua a alta presión, el empuje del agua da como resultado la aceleración del vehículo. Cuando se puede controlar la dirección de la boquilla, el empuje se puede obtener en varias direcciones. En 2005, se introdujo la implementación de este sistema de propulsión en un pequeño robot submarino.

El sistema de propulsión por inyección se considera un sistema poco convencional y se puede utilizar para aplicaciones de alta velocidad. Estos proporcionan alternativas viables a las ruedas de hélice convencionales. Por otro lado, son más adecuados para proteger el medio ambiente porque pueden evitar el contacto de hélices en movimiento que pueden causar daños o lesiones a la vida acuática.

Impulsor Magnetohidrodinámicos, MHD

El principio de funcionamiento de un impulsor magnetohidrodinámico consiste en hacer pasar una corriente eléctrica a través de un fluido conductor, como el agua salada, que atraviesa un campo magnético. El impulsor MHD genera un movimiento fluido debido a la interacción del campo magnético y la corriente que fluye a través de él.

La ventaja de este sistema de propulsión es que no tiene partes móviles, por lo que será más fácil resolver los problemas de sellado y mantenimiento. Sin embargo, su desventaja es que los electrodos reducen significativamente la eficiencia electromecánica debido a su disolución y desprendimiento de gas provocado por la electrólisis del material afectado.

Otro problema es que se requieren campos magnéticos de alta intensidad en vehículos submarinos para obtener una propulsión considerable. La eficiencia máxima que puede proporcionar este tipo de impulsor es inferior al 50%, ya que la fuerza de propulsión depende de la eficiencia del inductor.

Tracción con el fondo marino

La tecnología del desplazamiento de vehículos submarinos interactuando con el lecho marino es similar a la tecnología utilizada por los robots terrestres. La diferencia es que el peso del vehículo en el agua puede compensarse con su flotabilidad, y la fricción viscosa en el agua es mucho mayor que la fricción en el aire. En 1987, se introdujo Aquarobot, que es un robot que camina bajo el agua con 6 patas simétricas conectadas al cuerpo del robot en el centro. Los vehículos submarinos se pueden mover con patas, ruedas o pistas.

Cabe mencionar que existe otra forma de propulsión externa, que es el equipo remolcado (towfish) a bordo. Este tipo de equipo se utiliza principalmente para obtener imágenes del fondo marino a través de un sonar (llamado Side-scan sonar). Un ejemplo de este tipo de equipo es el robot MILANA, que funciona siendo remolcado por un barco mientras el vehículo mantiene una profundidad relativamente estable para tomar fotografías del fondo frente a la costa de Barcelona.

Aplicaciones.

En esta sección se resumen las principales aplicaciones de los robots submarinos.

- **Mapeo del fondo marino.** El primer avance en el mapeo de los fondos marinos se dio con el uso de proyectores de sonido submarinos "sonar". Fueron utilizados durante la Primera Guerra Mundial para detectar submarinos y torpedos enemigos. Hoy en día, los sistemas sonar mejorados ayudan a construir mapas de características importantes de los fondos marinos, como trincheras y cordilleras oceánicas. Robots submarinos autónomos también se usan para generar datasets sobre la batimetría (el estudio de las profundidades marinas) de alta resolución, datos sobre la retrodispersión magnética, óptica y de temperatura en las zonas tectónicas y volcánicas activas. Además, la industria petrolera utiliza el mapeo hecho por los robots submarinos para planear y construir sus instalaciones.[\[4\]](#)

- **Monitorización sísmica de campos petrolíferos.** La monitorización sísmica frecuente es importante para la extracción del petróleo ya que este proceso puede provocar actividad sísmica indeseable y terremotos. La monitorización sísmica subterránea se puede realizar con la ayuda de robots equipados con hidrófonos que también pueden realizar análisis visual de las estructuras submarinas.^[4]
- **Inspección de represas.** Los robots submarinos se pueden usar para buscar grietas u otros daños en el hormigón.^[5]
- **Investigación y aplicaciones medioambientales.** Los robots submarinos se pueden usar para estudiar la vida marina e interactuar directamente con ella. El robot llamado COTBot (Crown-Of-Thorns Starfish Robot) busca y elimina coronas de espinas, una especie que daña la Gran Barrera de Coral. Usa una red neuronal para identificar la corona de espinas e inyecta ácido biliar para matarla.^[6]
- **Investigación de accidentes aéreos.** Los robots submarinos se han usado para investigar las áreas marinas después de accidentes aéreos para buscar restos de aviones desaparecidos. Los robots usados durante la investigación de vuelo 370 de Malaysia Airlines (2013) y vuelo 447 de Air France (2009) bajaban a la profundidad de 4500 metros y recorrían el área con una velocidad de 5.6 km/h.^{[7][8]}
- **Aplicaciones militares.** Los robots submarinos pueden usarse para varios tipos de tareas militares: colección de señales; detección y localización química, biológica, nuclear, radiológica y explosiva; monitorización de puertos; medidas contraminas y muchas más aplicaciones militares.^[9]

Ejemplos de robot.

ROV:

- **AN/SLQ-48 Mine Neutralization Vehicle**

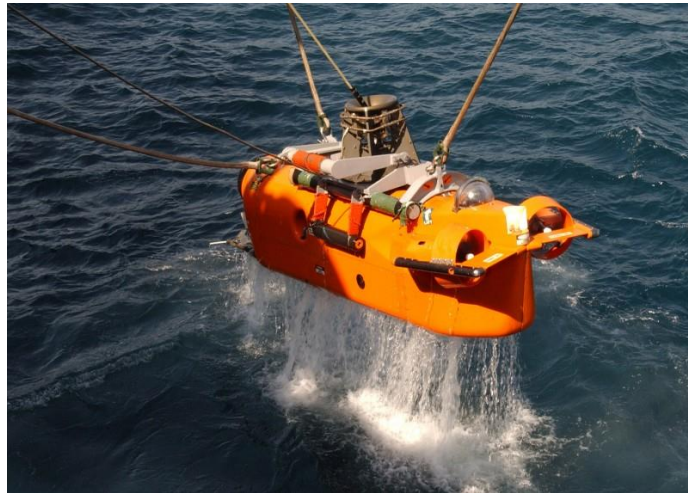


Figura 4: Imagen del AN/SLQ-48 Mine Neutralization Vehicle

En la Figura 4 aparece un robot de operación remota AN/SLQ-48 Mine Neutralization Vehicle utilizado para la neutralización de minas. Se conecta al barco con múltiples cables y puede alejarse 900 metros de y bajar a la profundidad de 600 metros. Coloca una carga explosiva en las minas ubicadas en el fondo, y corta los cables de las minas amarradas. El impacto acústico y magnético bajos del vehículo lo hacen invisible incluso para las minas marinas más modernas.^[10]

- **ROV Hercules**

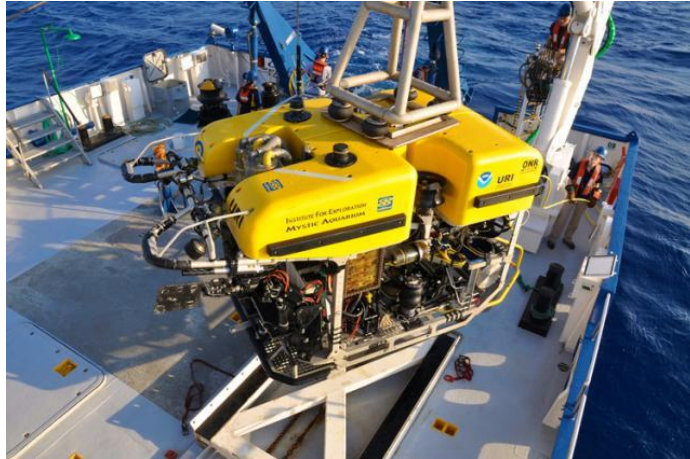


Figura 5: Imagen del ROV Hercules

En la Figura 5 aparece ROV Hercules: un vehículo teleoperado que fue diseñado para estudiar y recuperar artefactos de naufragios. Es capaz de estudiar características biológicas y geológicas de aguas profundas. Desciende a 4000 metros de profundidad y tiene brazos manipuladores en la parte frontal. Tiene una serie de cámaras, incluida una cámara de alta definición que permite a los científicos examinar las áreas de interés de una manera eficaz. ROV Hercules dispone de sensores acústicos. [\[11\]](#)

AUV:

- AUV COTSbot



Figura 6: COTSbot inyectando a una corona de espinas con su brazo neumático

El robot COTSbot de la Figura 6 es un robot autónomo submarino creado para eliminar coronas de espinas, una especie muy destructiva para la Gran Barrera de Coral. El robot tiene cámaras estereoscópicas que proporcionan percepción de profundidad, sensores de control de movimiento y un GPS para mejorar la navegación. El robot usa las cámaras y una red neuronal entrenada para reconocer la especie de interés. Una vez hecha la identificación, el brazo neumático con aguja baja del cuerpo del dron e inyecta una dosis letal de ácido biliar a la corona de espina. COTSbot lleva suficiente veneno para matar a más de 200 coronas de espinas en una misión, que suele durar entre 4 y 8 horas.^[12]

- **AUV Bluefin-21**



Figura 7: Imagen del Bluefin-21

El robot Bluefin-21 de la Figura 7 es un robot desarrollado para uso científico, militar o comercial. en 2014 ha sido usado para investigar el accidente aéreo de vuelo 370 de Malaysia Airlines. Tiene un diseño modular que se puede adaptar para equipar una variedad de sensores y cargas, por lo cual es un robot muy versátil y adecuado para diversas misiones submarinas. Durante la investigación de vuelo 370 de Malaysia Airlines estaba mapeando 90 km² al día con un sonar de barrido lateral.^[13]

IAUV:

- **IAUV TWINBOTS**

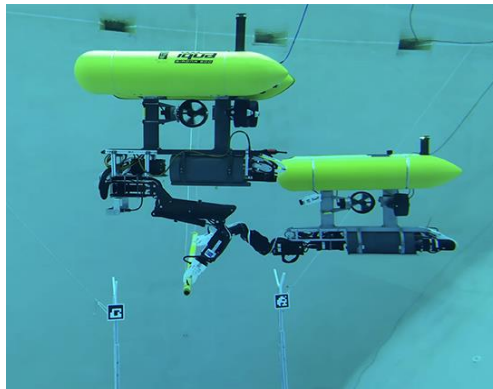


Figura 8: Imagen de los robots TWINBOTS

TWINBOT es un proyecto que tiene como objetivo desarrollar un nuevo tipo de IAUV capaces de trabajar de forma autónoma y cooperativa. Un conjunto de dos IAUV será capaz de resolver misiones estratégicas dedicadas a la manipulación cooperativa (transporte y montaje) en un escenario complejo. Se utilizará una arquitectura de comunicación multimodal (RF/VLC/acústica) para comunicar ambos robots. Un escáner láser proporcionará nubes de puntos 3D de los objetos de interés que serán utilizados por una arquitectura de reconocimiento de objetos para identificarlos y localizarlos con fines de manipulación y SLAM. Entre las posibles aplicaciones se puede destacar oceanografía y aplicaciones para industrias nucleares y petroleras. La Figura 8 muestra a los robots realizando una tarea de forma colaborativa. [\[14\]](#)

- **ALIVE AUV**



Figura 9: Imagen de ALIVE AUV

ALIVE es un robot capaz de realizar intervenciones en instalaciones submarinas de aguas profundas sin un buque de apoyo. El robot cuenta con un sistema de posicionamiento dinámico, capacidad de auto acoplamiento y está equipado con un manipulador de 7 funciones para intervenciones. En la figura 9 podemos observar al ALIVE AUV^[15]

Planificación de trayectorias para vehículos submarinos con ROS

Introducción.

Los simuladores de vehículos submarinos se han desarrollado en numerosas ocasiones, pero son en su mayoría desarrollados para un ROV (Remotely Operated Vehicle) o un AUV (Autonomous Underwater Vehicle) concreto.

Como los AUVs son autónomos, los simuladores son de mayor necesidad, pues es necesario comprobar que el sistema controla correctamente antes de realizar una misión; en cambio los ROV, al ser controlados por un operador en todo momento no existe el mismo riesgo.

Los simuladores son una parte clave de la robótica puesto que permiten depurar los códigos y los modelos matemáticos antes de implementarlos en el robot. Gracias a esto se pueden evitar ciertos errores que pueden provocar que la vida útil del robot quede reducida muy considerablemente.

Otra de las ventajas que presentan los simuladores es facilitar la elección del robot para una determinada tarea sin necesidad de hacer ningún tipo de inversión previa y con unos errores mínimos; como por ejemplo al programar una trayectoria en un robot real, el robot está sometido a agentes externos (como la fricción y más particularmente en el caso de los submarinos a corrientes) y se alcanza el objetivo con un pequeño margen de error. En cambio, si se programa la misma trayectoria en un robot simulado, la

probabilidad de acertar incrementa, ya que, aunque se simule el roce, este nunca actuara como tal.

En los simuladores se pueden probar códigos y librerías experimentales, que si se ejecutasen directamente en el robot real podrían causar estragos en el mismo.

La importancia de la robótica radica en su amplio impacto en la capacidad de Europa para mantener y ampliar un sector de la producción competitivo. La robótica también ofrece nuevas soluciones a los desafíos de la sociedad desde el envejecimiento a la salud, transporte inteligente, seguridad, energía y medio ambiente.

La Comisión Europea promueve activamente la investigación y la innovación mediante robots más seguros, salvaguardando al mismo tiempo los aspectos éticos de los progresos alcanzados. El enfoque de la Comisión Europea está en construir sobre un esfuerzo continuo para desarrollar la base científica y así empujar los límites de la tecnología.

La robótica es un mercado en rápido desarrollo cada vez más impulsado por el desarrollo de productos novedosos y mejorados en áreas tan diversas como la fabricación, búsqueda y rescate y recuperación, inspección y monitoreo, cirugía y salud, hogares y automóviles, transporte y logística, agricultura y muchos más.

El rápido aumento en el uso de robots en nuestros hogares y en el trabajo, en hospitales y entornos industriales proporciona una visión inspiradora sobre cómo pueden beneficiar a la sociedad en su conjunto y cómo las prioridades para estimular la robótica deben definirse en este momento de su evolución, mejor desarrollo del potencial de crecimiento, empleo e innovación en Europa.

A través de una cartera de más de ciento veinte proyectos de investigación y acciones de coordinación, la Comisión Europea ha ido construyendo progresivamente una sólida base de intercambio de conocimientos y cooperación en toda la comunidad de actores de la robótica. Esta base ahora incluye una asociación público-privada en robótica llamada SPARC.

Este trabajo se lleva a cabo en estrecha colaboración con la comunidad de la robótica, incluidos los programas de los Estados miembros, la industria, las universidades y las instituciones de investigación.

Estado del arte

La navegación es la ciencia de conducir un robot móvil mientras atraviesa un entorno para alcanzar un destino o meta sin chocar con ningún obstáculo.

La navegación nos lleva a crear una serie de herramientas totalmente necesarias para la creación de una trayectoria viable y segura. Se ha de crear un mapa con la información que existe o ir creando uno según se explore. Para ello se debe tener en cuenta distintas variables como son la percepción del entorno, fusión de sensores y control de movimiento entre otros.

Planificar es prever y decidir las acciones que permiten alcanzar el objetivo deseable, no se trata de hacer predicciones, sino de tomar las decisiones necesarias para alcanzar ese objetivo.

La idea general en la planificación de trayectorias consiste en desvincular el problema de la cinemática y dinámica del robot del de la obtención de una ruta (óptima o no) libre de obstáculos.

Actualmente existen numerosos algoritmos en tres dimensiones para planificar trayectorias, no obstante, los más sencillos de comprender, son en dos dimensiones, ya que en su mayoría están diseñados para robots que solo pueden maniobrar en el plano cartesiano (ya que no pueden variar la z). Sin embargo, tanto los submarinos como los drones necesitan incluir una tercera dimensión en la que moverse. No obstante, los algoritmos estudiados son extrapolables a 3 dimensiones, para lo cual habría que resolver tres veces la simulación (una para el plano XY, otro para el plano YZ y finalmente XZ). Analizando las posiciones en las que no hay obstáculos que entrasen en conflicto con otros planos, el robot sería capaz de calcular la trayectoria hasta el objetivo final.

Existe la posibilidad de emplear diferentes familias de algoritmos en función del problema particular que se quiere resolver.

Movelt está diseñado para trabajar con distintos planificadores de trayectorias, algunos de ellos se muestran en la lista a continuación, en orden descendente en función de la popularidad de estos.

OMPL (Open Motion Planning Library): OMPL es una librería open source que principalmente implementa aleatoriamente algoritmos para obtener una trayectoria de la posición inicial a la final.

STOMP (Stochastic Trajectory Optimization for Motion Planning): STOMP es un planificador de trayectorias óptimo basado en el algoritmo PI2 (Policy Improvement with Path Integrals). Puede planificar trayectorias evitando obstáculos y optimizando las limitaciones.

SBPL (Searched-Based Planning Library): es un planificador de trayectorias basado en la discretización del espacio.

CHOMP (Covariant Hamiltonian Optimization for Motion Planning): esta librería se basa en la optimización de trayectorias mediante un gradiente. Este algoritmo capitaliza un gradiente covariante y uno funcional para aproximarse al estado de optimización.

Movelt, es flexible y modular, por lo que puede trabajar con cualquier algoritmo de planificación de trayectorias con la apropiada interfaz.

La librería OMPL se compone de muchos algoritmos de planificación de muestreo basado en el movimiento. OMPL en sí no tiene ningún código relacionado con el control de colisión o de visualización. Esta es una opción de diseño deliberada, de modo que OMPL no está vinculada a un corrector de colisión frontal en particular o la visualización, solo entrega una trayectoria a seguir.

Además de la librería OMPL, hay otra que cumple con la interfaz descrita (SBPL). Ambas librerías son independientes de ROS y agnósticas al hardware que modelan. SBPL usa algoritmos basados en primitivas y OMPL basados en muestras.

Dado que la librería utilizada por defecto por Movelt (y por tanto el empleado en la resolución del problema) es OMPL; a continuación, se profundiza en los distintos algoritmos que utiliza.

Dichos algoritmos consisten en movimientos básicos que se encadenan para formar movimientos más complejos. Se realiza una búsqueda en cada estado entre un subconjunto de movimientos posibles para el robot considerando sus restricciones y los obstáculos, lo que permite construir el grafo incrementalmente o pre-calcularlo dependiendo de las necesidades del problema. La librería SBPL implementa varios de estos algoritmos, siendo los más relevantes los que se presentan en las siguientes secciones.

Este tipo de algoritmos presenta ciertas ventajas y desventajas:

Ventajas:

- El grafo generado es pequeño.
- Todos los caminos encontrados son factibles.
- Incorpora naturalmente las restricciones del robot u otras adicionales que sean de interés.

Desventajas:

- Dependiendo de la discretización elegida puede que sea imposible muestrear ciertos caminos válidos. Esto hace concluir falsamente infactibilidad para un problema factible.

Posible uso de la aplicación.

Un uso que podría tener la planificación de trayectorias de mi robot sumergible no es otra que la monitorización de los volcanes submarinos con el fin de estudiar los ecosistemas que se forman en estas áreas, que hasta hace poco se creían desiertas debido a las condiciones extremas del ambiente y tras numerosos descubrimientos recientes han suscitado el interés de un gran número de científicos. A la presión atmosférica a estas profundidades del océano hay que añadirle que la actividad geológica produce un aumento de la temperatura del agua y la disolución en ella de metano o ácido sulfhídrico [\[23\]](#). Pese a estas condiciones extremas en sus alrededores se ha descubierto gran cantidad de bacterias anaerobias, capaces de vivir sin luz solar ni oxígeno, gracias a la energía del interior de la Tierra. Estos microorganismos forman

además la base de un ecosistema formado por comunidades complejas de organismos que son objeto de estudio actualmente y gracias a la obtención de imágenes de alta calidad estamos viendo por primera vez como por ejemplo, una especie de gamba capaz de sobrevivir a 6500 metros de profundidad y a una temperatura ambiente de 407 °C^[25].

Referencias y Bibliografía

[1] Jacques, Piccard. 1961. "Seven miles down; the story of the bathyscaph Trieste."

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiltbixmYLuAhVpRxUIHRC1Ah8QFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fes.wikipedia.org%2Fwiki%2FBatiscafo_Trieste&usg=AOvVaw0f1wMLx5bBVHp9UKxVTaoY.

[2] "ROV Hercules." n.d. Nautilus Live. <https://nautiluslive.org/tech/rov-hercules>.

[3] Información acerca del Nautilus ROV Hercules.

https://oceanexplorer.noaa.gov/oceanos/edu/collection/media/hdwe-URLittleHerc78_spanish.pdf

[4] Chutia, Swagat, Nayan Kakoty, and Dhanapati Deka. 2017. "A Review of Underwater Robotics, Navigation, Sensing Techniques and Applications." *ResearchGate*, June 1, 2017.

https://www.researchgate.net/publication/321237107_A_Review_of_Underwater_Robotics_Navigation_Sensing_Techniques_and_Applications.

[5] Ridao, Dr. Pere. 2017. "An Introduction to Applied Underwater Robotics."

Universitat Jaume I. <http://www.irs.uji.es/trident/files/SIE017-Seminario-PRidao.pdf>.

[6] Stenhouse, Emma. 2017. "COTSbot: The Underwater Drone Set To Stop Destructive Starfish In Their Tracks." *Evolving Science*. <https://www.evolving-science.com/intelligent-machines-robotics-automation-transportation/cotsbot-underwater-drone-set-stop-destructive-starfish-their-tracks-00178>.

<https://www.evolving-science.com/intelligent-machines-robotics-automation-transportation/cotsbot-underwater-drone-set-stop-destructive-starfish-their-tracks-00178>.

- [7] Paterson, Tony. 2014. "Malaysia Airlines: World's only three Abyss submarines readied for plane search." The Telegraph. <https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/asia/malaysia/10717323/Worlds-only-three-Abyss-submarines-sent-to-Indian-Ocean-for-plane-search.html>.
- [8] Bray, Hiawatha. 2014. "Bluefin robot joins search for missing Malaysian plane." Boston Globe. <https://www3.bostonglobe.com/business/2014/04/14/bluefin/L9to17XsyJsxqRtoNigKkO/story.html?arc404=true>.
- [9] Fletcher, Barbara. 2000. "UUV Master Plan: A vision for Navy UUV development." Defense Technical Information Center. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a397124.pdf>.
- [10] Pike, John. n.d. "AN/SLQ-48 - Mine Neutralization Vehicle." GlobalSecurity.org. <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/systems/an-slq-48.htm>.
- [11] Live, Nautilus. n.d. "ROV Hercules." Nautilus Live. <https://nautiluslive.org/tech/rov-hercules>.
- [12] Dayoub, Feras, Matthew Dunbabin, and Peter Corke. 2015. "Robotic Detection and Tracking of Crown-of-Thorns Starfish." IEEEExplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7353629>.
- [13] "Bluefin-21 Autonomous Underwater Vehicle (AUV)." n.d. Naval Technology. <https://www.naval-technology.com/projects/bluefin-21-autonomous-underwater-vehicle-auv/>.
- [14] "TWIN roBOTs for cooperative underwater intervention missions." n.d. Universitat Jaume I. <http://www.irs.uji.es/twinbot/twinbot.html>.
- [15] Cybernetix. n.d. "Autonomous Light Intervention Vehicle configuration." AUVAC. <https://auvac.org/15-2/>.
- [16] Hill, Gillian. 2013. "MSU ROV Team." <https://slideplayer.com/slide/10997909/>.
- [17] Williams, Adam. 2012. "BIOSwimmer robot mimics the humble tuna fish." New Atlas. <https://newatlas.com/bioswimmer-robotic-tuna/24213/>.

- [18] Moreno, Hector, Roque Saltaren, Lisandro Puglisi, Isela Carrera, Pedro Cardenas, and Cesar Alvarez. 2014. "Robótica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control." Universitat Politècnica de Valencia. <https://polipapers.upv.es/index.php/RIAI/article/view/9474>.
- [19] "SAT ROV." n.d. Randal Systems. <https://randalsystems.com/sat-robotica-submarina/>.
- [20] Moreno, Hector, Roque Saltaren, Lisandro Puglisi, Isela Carrera, Pedro Cardenas, and Cesar Alvarez. 2014. "Robotica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control." Science Direct. https://digital.csic.es/bitstream/10261/111496/1/Saltaren_R_Robotica_Submarina_Revista_Iberoamericana_Automatica_Informatica_industrial_11_2014_3E2%80%9319.pdf.
- [21] "Robótica submarina para la sostenibilidad y la observación del océano." n.d. l'mnovation. <https://www.imnovation-hub.com/es/transformacion-digital/robotica-submarina-para-la-sostenibilidad-y-la-observacion-del-oceano/>.
- [22] Carlucho, Ignacio, and Natalia Arralde. n.d. "Robótica Submarina." Amenazar Roboto. <https://amenazaroboto.com/roboticasubmarina>.
- [23] Fernandez Muerza, Alex. 2008. "Volcanes submarinos: fuente de vida y de muerte." Consumer. <https://www.consumer.es/medio-ambiente/volcanes-submarinos-fuente-de-vida-y-de-muerte.html#:~:text=Los%20volcanes%20submarinos%20podr%C3%ADan%20tener,minerales%20importantes%20para%20el%20futuro>.
- [24] Livanos, Isidoros, Paraskevi Nomikou, Dimitris Papanikolaou, and Grigoris Rousakis. 2013. "The volcanic debris avalanche on the SE submarine slope of Nisyros volcano, Greece: geophysical exploration and implications for subaerial eruption history." SpringerLink. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00367-013-0338-y>.
- [25] "Encuentran vida en volcanes submarinos a 6.500 metros de profundidad." 2013. RT. <https://actualidad.rt.com/ciencias/view/87351-vida-volcan-submarino-caribe-caiman>.