

VEHÍCULOS AUTÓNOMOS SUBMARINOS: NUEVOS ACTORES EN LAS OPERACIONES NAVALES

Juan Ramón CONFORTO SESTO



En los últimos tiempos hemos asistido a grandes avances en Robótica e Informática que, entre otras cosas, han impulsado la evolución de los vehículos submarinos no tripulados hasta niveles cada vez mayores de sofisticación.

Los primeros vehículos de este tipo, cuyo desarrollo se inició en los años 60, fueron los Vehículos Operados Remotamente (conocidos como *ROV*, en inglés) que son controlados por operadores humanos a través de un cable (o cordón umbilical) que une al vehículo con su plataforma de control (un buque, una plataforma petrolífera, un submarino, etc.). Inmediatamente estos minisubmarinos encontraron importantes clientes en la industria del petróleo y el gas, de forma que actualmente son imprescindibles para la inspección, mantenimiento y reparación de cables, tuberías y otras estructuras subacuáticas. En el mundo militar, diversas marinas los utilizan también para la caza de minas o la inspección de cascos de buques en busca de posibles explosivos adosados. Otras importantes aplicaciones son el salvamento marítimo, la hidrografía o la arqueología submarina, por citar sólo algunos ejemplos.

Una evolución del *ROV* ha sido el vehículo autónomo submarino (*AUV*, *Autonomous Underwater Vehicle*), en el que el control pasa a tomarlo un ordenador instalado en el propio vehículo, lo cual le permite operar de forma independiente. De esta forma, un *AUV* es capaz de tomar decisiones en función de cambios del medio o de los distintos eventos que sus sensores detecten y su software interprete. Sus aplicaciones son similares a las de los *ROV*, con las ventajas añadidas de poder actuar de forma encubierta y de contar con suficiente alcance y autonomía para operar alejados de su plataforma de control.

Los *AUV* fueron desarrollados en los años 70 tanto por el MIT (Massachu-

setts Institute of Technology) de Estados Unidos como por la Marina soviética. Sin embargo, como se ha indicado, los grandes avances en el desarrollo de esta tecnología han venido recientemente de la mano de la industria privada, siendo frecuente que incluso los vehículos proyectados por institutos tecnológicos u oceanográficos sean comercializados y mantenidos por empresas. Con la tendencia a la baja de los presupuestos de investigación en Defensa (por lo menos en Occidente), esta evolución parece que no vaya a cambiar en los próximos años.

Características de un AUV

Los elementos y el diseño de un AUV son básicamente los mismos de un submarino convencional. Un AUV típico tiene un casco de forma cilíndrica o ahusada y está impulsado por baterías eléctricas, o bien por células de combustible que accionan una hélice situada a popa. El control se consigue a través de la propia hélice, de planos de deriva y de profundidad y de hidroreactores. Naturalmente, incorporan uno o varios sistemas de navegación (inercial, giroscópica, etc.) y control, así como módems acústicos para comunicaciones submarinas. Las dimensiones de un AUV van desde el metro y medio a los siete metros, siendo los mayores normalmente aquellos diseñados para operar a mayor profundidad. La velocidad máxima en inmersión ronda los cuatro u ocho nudos, según el modelo.

La instrumentación que puede montar el vehículo (*payload*) la integra un amplio espectro de sensores y dispositivos: sónares (batimétricos, de barrido lateral, de apertura sintética, etc.), sensores CTD (Conductividad, Temperatu-

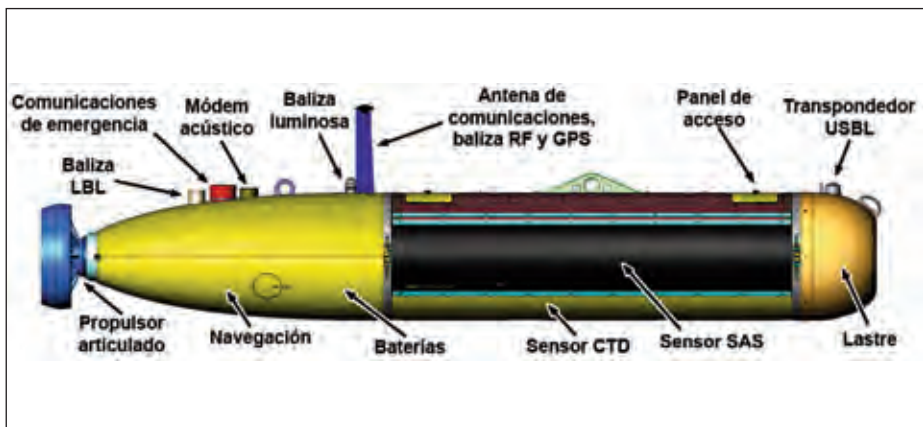


Figura 1: esquema del vehículo *MUSCLE* y sus principales elementos.



Figura 2: vehículo autónomo submarino *Ocean Explorer* del NURC.

ra y Profundidad), ecosondas, videocámaras, etc. Normalmente los AUV tienen un diseño modular para que pueda instalarse un tipo u otro de sensores, dependiendo de la misión, proporcionando así una gran versatilidad de uso.

Como ejemplo de AUV modelo, la figura 1 muestra un esquema del vehículo *MUSCLE* del NURC en el que se localizan los distintos sistemas e instrumentos. La zona de instrumentación en este caso incorpora como sensor principal un sonar de apertura sintética (SAS) de alta resolución. Otra particularidad de este AUV es que utiliza una hélice articulada en lugar de aletas móviles para el control de dirección. Cuando el vehículo está en superficie puede utilizar los sistemas de comunicación por radiofrecuencia (RF) y determinar su posición mediante GPS. Una vez sumergido, la navegación se realiza mediante un sistema inercial, aunque el vehículo cuenta también con sistemas precisos de posicionamiento acústico submarino de tipo USBL (*Ultra Short Base Line*) y LBL (*Long Base Line*). La baliza luminosa se utiliza para facilitar la localización visual y recuperación del AUV una vez completada la misión.

Las reducidas dimensiones de los AUV dificultan su detección. Si tenemos en cuenta que los submarinos convencionales son capaces de llegar de forma desapercibida a distancias de tiro contra buques de fuerzas navales perfectamente equipadas y entrenadas con lo mejor en guerra antisubmarina —recuérdese el caso del submarino chino clase *Song* que emergió frente al portaaviones USS *Kitty Hawk* en 2006 (1), o el del argentino Tipo 209 *San Luis* durante la Guerra de las Malvinas, que de no ser por un fallo técnico pudo haber torpedeado a una fragata británica (2)—, podemos ser conscientes de la dificultad que entrañaría la detección de un pequeño y silencioso AUV.

Planeadores submarinos

Los planeadores submarinos (denominados *underwater gliders*, o simplemente *gliders*, en inglés), son similares a los AUV pero, en lugar de confiar su propulsión a una hélice utilizan su forma hidrodinámica, alas y cambios de flotabilidad (mediante el efecto hidrostático de sus tanques de lastre) para planear, realizando movimientos en zigzag vertical, con un característico patrón de trayectoria en forma de diente de sierra entre la superficie y el fondo del océano. Su bajo consumo energético les dota de una autonomía de meses en la mar sin necesidad de intervención humana.

En el curso de una misión, el planeador se acerca periódicamente a la superficie para comunicarse vía satélite, transmitir los datos recogidos y recibir nuevas instrucciones.

Si el AUV es muy difícil de detectar, el planeador lo es aún más: es del mismo o incluso de menor tamaño, no emite prácticamente ninguna señal acústica y la única radiación que puede emitir es aquella de sus propios sensores, que es muy limitada. Constituye, pues, no sólo una magnífica plataforma para recoger datos durante largos periodos de tiempo, sino también un excelente espía.

Aplicaciones de los AUV en las operaciones navales

A continuación efectuamos un repaso de aquellos aspectos de la guerra naval donde los AUV son más utilizados.

(1) Moss, Treffor: *Power to the people: China's military modernization, part one*. Jane's Defence Weekly, 45 (30), 2008, pp. 26-30.

(2) SCOTT, Richard: *New coastal submarine concepts get ready to break the surface*. Jane's International Defence Review, 41, June 2008, pp. 71-77.



Figura 3: planeador submarino *SPRAY*.

Medidas Contraminas

El primer uso documentado de los AUV en el curso de una operación naval tuvo lugar frente al puerto iraquí de Umm Qasr en el año 2003, cuando un vehículo *Remus 100* de la Marina norteamericana procedió a reconocer con su sónar de barrido lateral todos los accesos al puerto en busca de minas y otros peligros sumergidos para las fuerzas expedicionarias (3). Actualmente los vehículos submarinos son muy comunes en los ejercicios navales de la OTAN.

Las minas submarinas son especialmente difíciles de detectar cuando yacen sobre fondos marinos irregulares (aún más si hay vegetación), o se encuentran parcialmente enterradas. Otras veces puede ser difícil distinguirlas de otros objetos sumergidos, ya sean rocas, restos de pecios o materiales de desecho. También puede ocurrir que la mina esté emplazada en una zona de

(3) SCOTT, Richard: *Clearing the way: UUVs evolve to meet front-line MCM requirements*. *Jane's International Defence Review*, 41 (2008), pp. 42-48.

difícil acceso para los buques cazaminas y sus sensores. En todas las situaciones anteriores el AUV resulta una plataforma ideal, puesto que puede acercarse a una mina u otro objeto sospechoso con menor riesgo de activar su explosión por su menor firma acústica, magnética o de presión que la de un navío. Por su menor tamaño y operación submarina puede llegar a sitios de difícil acceso para el cazaminas. Junto a esto, su mayor valor reside en que evita exponer vidas humanas y costosos buques en zonas minadas.

Debido a la reducida visibilidad bajo el agua, los AUV usados en medidas contraminas (MCM) cuentan con un sónar como sensor principal para la observación del fondo marino. Los sónares modernos son capaces de obtener imágenes con resoluciones de pocos centímetros, siendo el tipo de sónar más utilizado el de barrido lateral (*side-scan*, en inglés). Este tipo de sónar tiene la desventaja de que su resolución decrece con la distancia de observación, una limitación que no afecta a los más avanzados sónares de apertura sintética (SAS), que ofrecen resolución constante hasta rangos de varios centenares de metros. En la figura 4 se muestran dos vistas de un objeto cilíndrico de unos cuatro metros de longitud (muy posiblemente una antigua mina de la Segunda Guerra Mundial) obtenidas por el SAS del vehículo *MUSCLE* durante la reciente campaña oceanográfica Colossus 2 en el mar Báltico. Las imágenes tienen una resolución de cinco centímetros por píxel y han sido obtenidas a 55 y 145 metros de distancia, lo que da una idea de la calidad de imagen que puede obtenerse con este tipo de sensor.

Utilizando las detalladas imágenes proporcionadas por los sónares de apertura sintética (SAS) o de barrido lateral y el procesado de la imagen con técni-

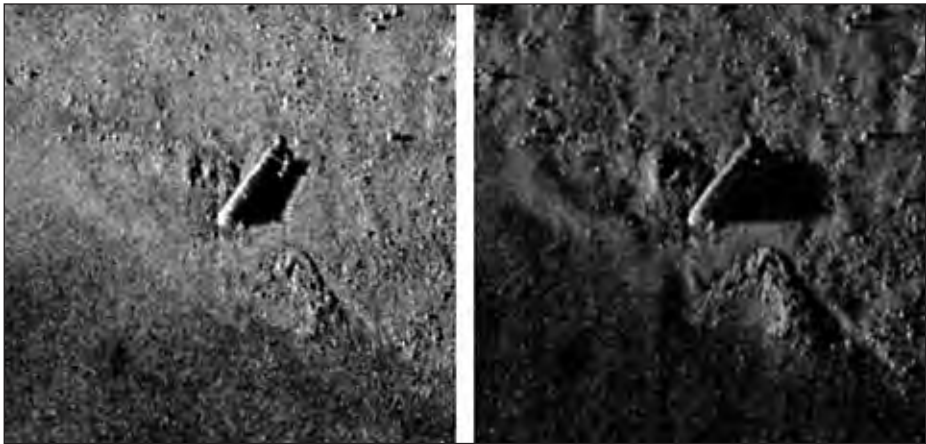


Figura 4: dos vistas de un objeto cilíndrico de unos cuatro metros de longitud observado a 55 m (izquierda) y 145 m (derecha) de distancia mediante el sónar de apertura sintética del vehículo *MUSCLE*. La resolución de las imágenes es de cinco centímetros por píxel.

cas de reconocimiento automático de blancos (*Automated Target Recognition*, ATR, en inglés), es posible determinar qué objetos asentados en el fondo marino son potencialmente minas. Complementariamente, el AUV puede utilizar otro tipo de sónares u otros sensores no acústicos (magnetómetros, videocámaras, etc.) para conseguir mayores niveles de precisión en su análisis.

Así pues, un AUV en configuración contraminas podría contar con la siguiente combinación de sensores: un sónar de apertura sintética para literalmente ver las minas; un sónar de baja frecuencia, cuya señal pueda penetrar en los sedimentos (donde puede haber minas parcial o totalmente enterradas); un sensor magnético para detectar los componentes metálicos; y un sensor químico para detectar trazas de explosivos (4).

Evaluación Rápida de las Condiciones Ambientales

El conocimiento de la orografía marina y de las condiciones ambientales del lugar donde se va a realizar una operación naval es fundamental para una correcta implementación de la misma. Esta caracterización física del teatro de operaciones se denomina Evaluación Rápida de las Condiciones Ambientales (*Rapid Environmental Assessment*, REA, en inglés). La adquisición de esta información ambiental debe realizarse de forma segura y encubierta. Estos dos aspectos hacen que los AUV y planeadores submarinos sean de especial interés para esta actividad. Estos robots autónomos pueden realizar incursiones discretas en aguas territoriales ajenas para proporcionar información batimétrica, oceanográfica e hidrográfica de la misma. La información adquirida se transmite mediante sistemas de comunicación satelitales al buque nodriza. Una vez recibida, dicha información se asimila en modelos de simulación numérica para proporcionar diagnósticos y pronósticos de las condiciones ambientales en dicho territorio.

Vigilancia de puertos

El auge del terrorismo en esta década ha dado una importante relevancia a la protección y vigilancia de las instalaciones portuarias y de los buques presentes. No es preciso recalcar las graves consecuencias humanas, medioambientales y económicas que pueden suponer los atentados contra buques de pasaje, petroleros, mercantes cargados con productos químicos, etcétera.

(4) BOVIO, E.: *Autonomous underwater vehicles for port protection*. International conference on new concepts for harbour protection. Littoral security and shallow-water acoustic communications (Istanbul, 4-8 julio 2005).

Una forma natural de entrada de terroristas —u otro tipo de intrusos— son las propias aguas del puerto: nadadores, buceadores y, por supuesto, también AUV, minisubmarinos y pequeñas embarcaciones. Desde el punto de vista de la detección, cada una de estas amenazas tiene sus propias peculiaridades, que se traducen en diversos tipos y/o configuraciones de sensores (5).

Además de la propia vigilancia con fines antiterroristas y contra otros tipos de intrusos, existen otras actividades complementarias de protección de puertos en las que los AUV colaboran de forma efectiva:

- Verificación de las condiciones del casco de los buques en el puerto.
- Verificación de la correcta señalación y navegabilidad de los canales.
- Verificación del estado de las instalaciones del puerto.
- Determinación de la seguridad medioambiental del puerto.
- Detección de la entrada de fauna marina a través de los cambios del agua de los tanques de lastre.

El papel del AUV reside, fundamentalmente, en los siguientes cometidos:

- El reconocimiento o patrulla regular de las aguas portuarias para detectar con sus sensores la presencia de intrusos, peligros medioambientales (vertidos de combustible u otros productos contaminantes), etcétera.
- La inspección automática de los cascos de los buques fondeados o amarrados en busca de explosivos adosados o de grietas y fisuras.
- La prospección hidrográfica detallada del puerto y sus accesos con el fin de catalogar con el máximo detalle todos los objetos del fondo. Una vez realizada la batimetría y catalogación de objetos es mucho más fácil descubrir, en el curso de posteriores patrullas, la presencia de nuevos objetos a investigar e identificar (6).

Además de grandes exigencias de precisión de los sensores, debemos señalar que semejante nivel de detalle en el posicionamiento de los objetos sumergidos exige forzosamente sistemas de navegación GPS, inercial y/o posicionamiento acústico submarino (USBL o LBL). Además, el transitado entorno portuario impone especiales exigencias al sistema de detección de obstáculos integrado en el AUV.

(5) KESSEL, Ronald T.: *Protection in ports: countering underwater intruders*. Undersea Defence Technology Europe (Nápoles, 5-7 junio 2007).

(6) TRUVER, Scott C.: *Mines and underwater IEDs in US ports and waterways*. Naval War College Review (2008), v. 61(1), pp. 106-127.

Guerra antisubmarina

Como ya hemos mencionado anteriormente, los submarinos modernos son cada vez más difíciles de detectar. La situación será todavía más difícil para las fuerzas antisubmarinas en el futuro: los submarinos serán cada vez más silenciosos y raramente emergerán gracias a la propulsión independiente del aire. Los revestimientos anecoicos los hacen detectables solo a pequeñas distancias. Incluso están en desarrollo sistemas para disminuir la intensidad de las olas internas generadas por el propio avance del submarino bajo el agua. A esta dificultad creciente de detección cabe añadir el aumento de capacidades OTHT de los nuevos submarinos con sistemas de misiles antibuque lanzables en inmersión y de alcance superior a los de cualquier sistema de detección sónar (7).

Además, la progresiva miniaturización de los sistemas y su automatización permite prever un futuro cercano con submarinos convencionales más pequeños y con tripulaciones muy reducidas, que operarán principalmente cerca de la costa y/o en aguas someras.

En este escenario, los AUV operarán desde ambos bandos: sea como vehículos de exploración auxiliar del propio submarino o bien como una plataforma adicional de sensores para las fuerzas antisubmarinas, actuando independientemente o como parte de un conjunto coordinado de efectivos. Este último concepto es importante dada la importancia que están cobrando los sensores multiestáticos, que requieren emisores y receptores situados en localizaciones distintas. En este caso el AUV actuará, según convenga, como emisor o receptor en el contexto de estas redes de sensores que, como ya ha sido demostrado, aumentan notablemente las posibilidades de detección (8). La versatilidad de los sensores que un AUV puede incorporar queda demostrada con la matriz acústica remolcada SLITA (*Slim Towed Array*), desarrollada por el NURC especialmente para su uso en vehículos autónomos submarinos (9).

Temas pendientes y aspectos a mejorar

Los AUV, como toda tecnología naciente, tienen sus limitaciones. En primer lugar, la autonomía que proporcionan las baterías que los impulsan, y en segundo, el sistema de lanzamiento y de recuperación, que es de especial

(7) ZIMMERMAN, Stan: *Submarine technology for the 21st century*. Victoria: Trafford, 2000.

(8) BEEN, R., Hughes; D. T., VERMEIJ, A.: *Heterogeneous underwater Networks for ASW*. Undersea Defence Technology Europe (Glasgow, 10-12 junio 2008).

(9) BARBAGELATA, A.; GUERRINI, P.; TROIANO, L.: *Thirty years of towed arrays at NURC*. *Oceanography* (2008), v. 21, n. 2, pp. 24-33.



Figura 5: otra imagen de un vehículo *Ocean Explorer*, esta vez mostrando la matriz acústica remolcada SLITA, desarrollada por el NURC.

importancia para aquellas aplicaciones militares en que deban operar cerca de (o directamente en) aguas enemigas.

Las baterías eléctricas clásicas tienen gran limitación de autonomía. Al igual que en los propios submarinos o diversos modelos de torpedos, la solución parece encontrarse en los sistemas de propulsión independiente del aire (AIP), tales como las mencionadas células de combustible. La investigación en estas tecnologías ha dado pasos de gigante y en un futuro a corto o medio plazo se espera que aparezcan versiones de bajo coste de este tipo de impulsores. Vale la pena mencionar que también la industria automovilística está investigando en este tipo de sistemas como alternativa a los actuales motores de combustión interna.

A nivel de limitaciones también cabe señalar la capacidad de almacenamiento y transmisión de datos. La gran cantidad de información generada por los modernos sensores (por ejemplo, las imágenes generadas por un sónar de apertura sintética) debe ser almacenada y preprocesada en el propio vehículo antes de su transmisión. Posteriormente deberá de disponerse del suficiente ancho de banda de transmisión que permita su transferencia en un tiempo breve. Es éste, no obstante, un campo en el que también se está asistiendo a espectaculares progresos tecnológicos, tanto a nivel de almacenamiento y preprocesado como de protocolos y tecnologías de comunicaciones.

La inmensa mayoría de los AUV están proyectados para ser lanzados al agua desde buques o instalaciones de superficie utilizando grúas u otros

dispositivos similares. La necesidad de poder desplegar y recuperar estos vehículos en zonas alejadas y/o de forma encubierta ha propiciado nuevos avances. Ya se han efectuado lanzamientos de AUV desde los tubos lanzatorpedos de submarinos (10) y también se está investigando en la posibilidad de transportarlos acoplados al casco de submarinos para su oportuno lanzamiento y recuperación desde el mismo.

Conclusiones

Los vehículos autónomos submarinos han superado la fase experimental y han sido incorporados por las principales marinas del mundo como plataformas de todo tipo de sensores submarinos. El aumento de su fiabilidad y prestaciones, a la par de la reducción de coste, los sitúan al alcance de la mayor parte de las marinas de guerra.

Nuevas capacidades y conceptos operativos en áreas clave, como la vigilancia y el reconocimiento marítimo, o las medidas contraminas, están emergiendo de la mano de esta tecnología. En los próximos años veremos su uso de forma regular en las operaciones navales.



(10) GLASSBOROW, Katy: *USN submarine launches covert AUV*. Jane's Navy International, 01/2006.