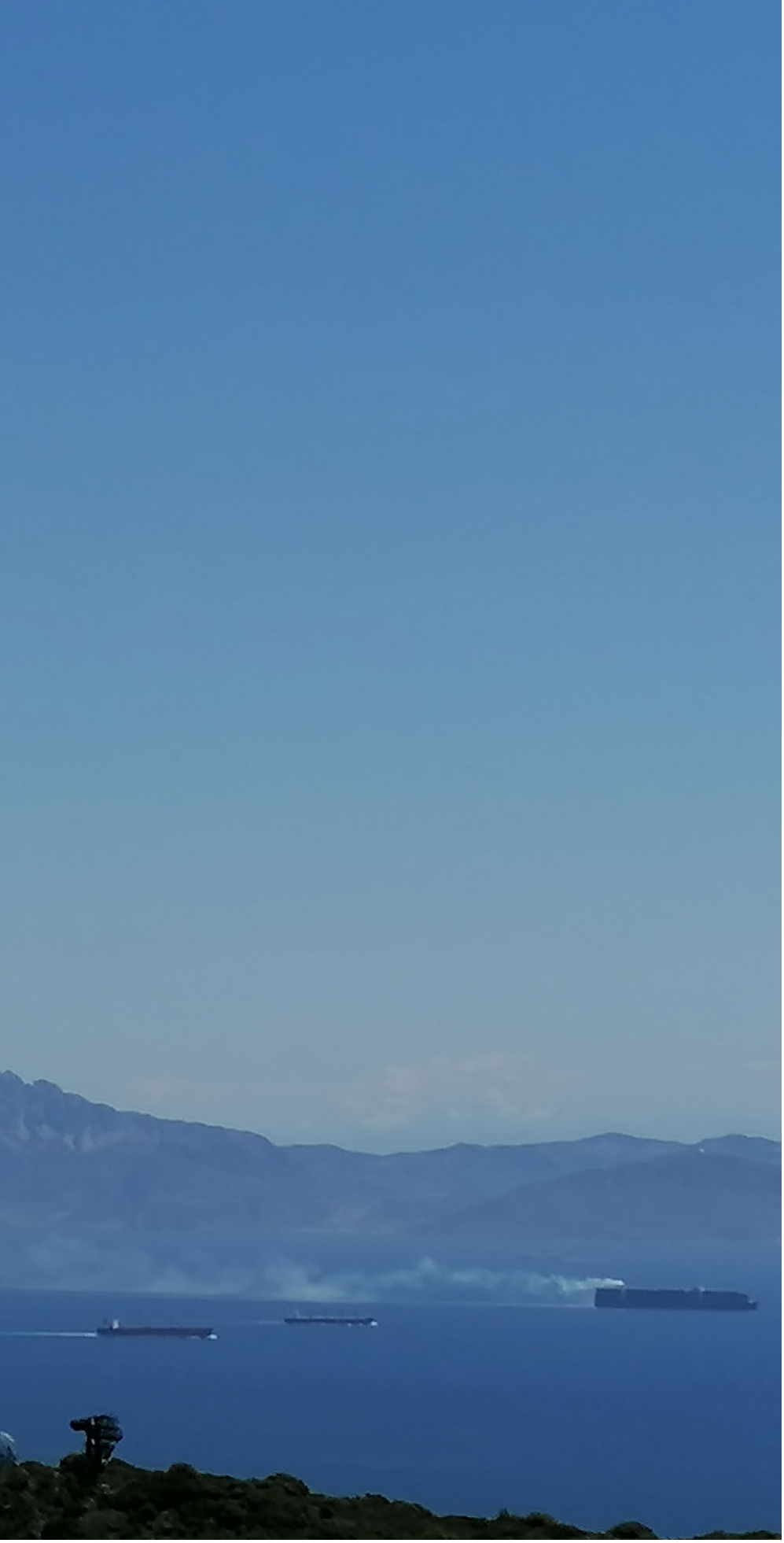
Control de las emisiones
de los buques en navegación mediante drones

Una experiencia pionera en el Estrecho

■ *Texto: Juan Andrés Lecertúa Goñi, Consejero Técnico de Seguridad y Medio Ambiente en el Levante, y Federico Navarro Cabrera, Inspector de seguridad marítima de la Dirección General de la Marina Mercante*



Las aeronaves tripuladas por control remoto (drones) se han mostrado como una herramienta muy eficaz para el control de las emisiones de los buques, así como para el desarrollo de otros tipos de misiones mar adentro.
El estrecho de Gibraltar, con un tráfico de unos 100.000 buques al año y relativamente próximo a la costa, ha sido una localización idónea en la que validar el uso de drones para medir las emisiones contaminantes de los buques en navegación. Por primera vez se ha utilizado esta tecnología fuera de una zona de control de emisiones obteniendo unos resultados muy satisfactorios. Además, durante el desarrollo de las operaciones, se ha podido comprobar la utilidad de esta tecnología en operaciones de rescate y de vigilancia aduanera, lo que le augura un futuro muy prometedor.

Aeronave Schiebel CAMCOPTER® S100 utilizada en el Estrecho de Gibraltar.

¿Por qué medir las emisiones de los buques?

La flota mundial de buques mercantes estaba compuesta, a finales de 2020, aproximadamente por unos 62.000 buques que emplean combustibles fósiles como medio de propulsión y, mayoritariamente, lo que se conoce como combustibles pesados (Heavy Fuel Oil), que son los remanentes de los procesos de destilado del petróleo. Este tipo de combustibles son menos "limpios" que otros combustibles fósiles, ya que contienen un porcentaje muy elevado de azufre, nitrógeno y compuestos aromáticos, por lo que su combustión libera importantes cantidades de óxidos de azufre (SOx) y óxidos nitrosos (NOx). La emisión de estos gases contaminantes es origen de problemas de salud para las personas y tiene efectos en el medio ambiente como la acidificación y eutrofización de ecosistemas.

La Organización Marítima Internacional (OMI), agencia especializada de las Naciones Unidas para desarrollar la normativa mundial de seguridad de la vida humana en la mar, protección del medio ambiente marino y el tráfico del sector marítimo, desarrolló la regulación sobre las emisiones de gases SOx y NOx en el marco del Anexo VI (Contaminación atmosférica) del Convenio internacional MARPOL (Prevención de la contaminación causada por los buques). En ambos casos se adoptó una aproximación por fases temporales fijando límites para las emisiones por periodos de tiempo.

Así, para las emisiones de azufre, se determinaron los siguientes porcentajes de contenido máximo de azufre en los combustibles utilizados por los buques a nivel mundial: a partir de 1997: 4,5% masa/masa; a partir de 2012: 3,5% masa/masa; a partir de 2020: 0,5% masa/masa. Lo que se conoció como IMO2020.

Adicionalmente, se definieron Zonas de Control de Emisiones de Azufre en las que el contenido de azufre del combustible utilizado por los buques no podía superar el 0,10% masa/masa, tales como el Mar del Norte, Mar Báltico y las aguas próximas a Estados Unidos y Canadá y las aguas del Caribe de los Estados Unidos.

La Unión Europea desarrolló la Directiva 2012/33/EU conocida como "Directiva de Azufre", que modificaba la directiva 1999/32/EC en lo relativo al contenido de azufre de los combustibles marinos. Esta Directiva fue traspuesta a nuestro ordenamiento jurídico en el Real Decreto 290/2015 por el que se modificaba el Real Decreto 61/2006 sobre especificaciones de gasolinas, gasóleos,

fuelóleos y gases licuados del petróleo y se regula el uso de determinados biocarburantes y el contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo. Es de destacar que en la regulación europea se establece que en los puertos de la Unión Europea los buques han de utilizar un combustible con contenido máximo de azufre del 0,10% masa/masa, por lo que los buques que arriban a puertos de la Unión Europea han de llevar a bordo dos tipos de combustibles, el utilizado en navegación (<de 0,50% m/m) y el utilizado en puerto (<de 0,10% m/m).

Por ello, siguiendo las pautas marcadas por la Comisión Europea, en coordinación con otras Administraciones Marítimas Europeas, en el año 2016 la Dirección General de la Marina Mercante (DGMM) dio instrucciones a las Capitanías Marítimas para comenzar a controlar, mediante inspecciones a los buques atracados en los puertos españoles, el contenido de azufre del combustible utilizado por los mismos en puerto, fijado por la anteriormente mencionada Directiva Europea 1999/32/CE, posteriormente codificada en la Directiva UE/2016/802, con vistas a tener procedimientos apropiados para dicho control y estar preparados para el importante cambio que se preveía a partir del 1 de enero de 2020, cuando la OMI prohibiría, a nivel mundial, el uso de combustibles marinos con contenido de azufre superior al 0,50% en masa, frente al 3,50% permitido hasta esa fecha, y a la vista del importante reto que ese cambio iba a suponer para el transporte marítimo mundial.

El objetivo de esos nuevos límites era reducir sustancialmente la contaminación atmosférica, a la vista de los buenos resultados obtenidos en las Áreas de Control de Emisiones (ECAs) establecidas en el mar Báltico y el Mar del Norte.

Por tal motivo, desde el año 2016 se han inspeccionado y muestreado el siguiente número de buques:

Año	2016	2017	2018	2019	2020
Buques Inspeccionados	1075	1021	1229	1161	1148
Muestreos y Análisis	76	151	218	213	325
Incumplimientos detectados	11	15	29	27	15

El dron tienen una duración de vuelo de más de 6 horas.

En la imagen, Juan Andrés Lecertúa, consejero técnico de Seguridad y Medio Ambiente y Julio Berzosa, capitán marítimo de Algeciras.

Además, con objeto de reforzar su cumplimiento, la OMI estableció una prohibición expresa de transportar, para su utilización a bordo, combustible con contenido de azufre superior al 0,50% en masa, que entró en vigor el 1 de marzo de 2020, a no ser que se cuente a bordo con sistemas de limpieza de gases de escape (*scrubbers*), debidamente aprobados y certificados, que permiten depurar las emisiones de SOx a los equivalentes a usar combustibles con 0,50% en la mar y 0,10% en las zonas de control de emisiones, usando combustibles con alto contenido de azufre de hasta 3,50%, siempre que dicho equipo se opere correctamente, o que se utilicen otros métodos equivalentes como la utilización del gas evaporado (*boil off gas*) en los buques que transportan Gas Natural Licuado (GNL) o en otros buques que utilicen dicho GNL como combustible.

En cuanto a la vigilancia del cumplimiento del contenido de azufre en el combustible se establecen dos mecanismos principales:

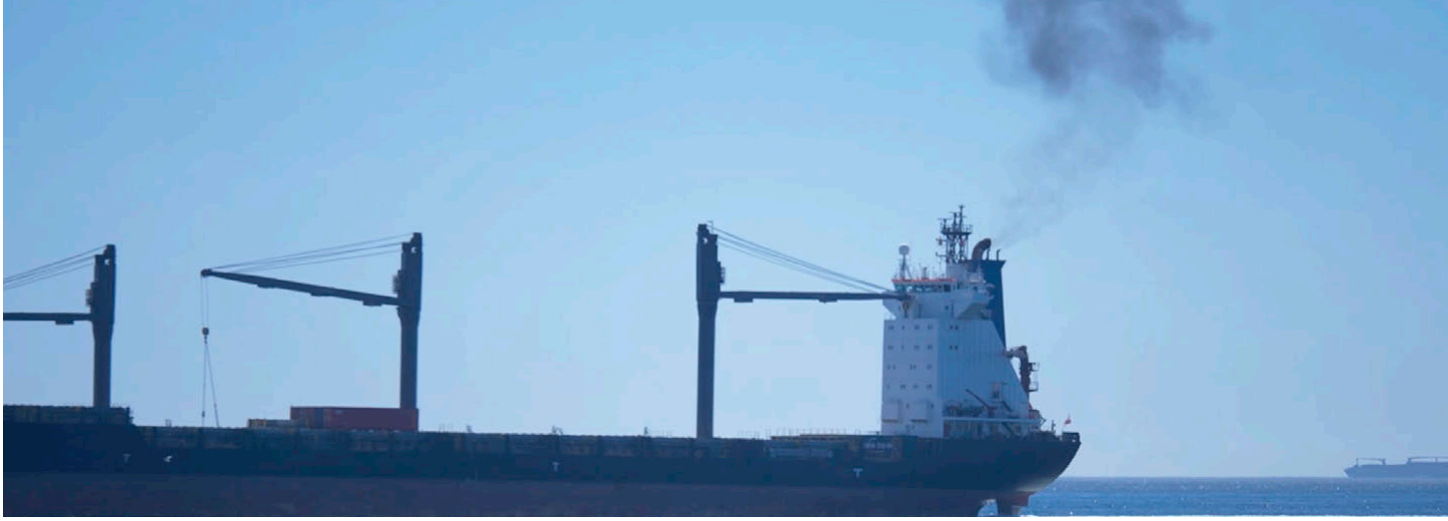
- La inspección documental. Los suministradores de combustible están obligados a entregar una "Nota de Entrega de Combustible" con las características y la cantidad del combustible suministrado entre las que se encuentra el contenido de azufre de este.
- El análisis del contenido de azufre de una muestra tomada del combustible en uso y/o el análisis de la muestra de combustible entregada por el suministrador. En la práctica, en los casos en que se analiza una muestra, esta es mayoritariamente del combustible utilizado en puerto (<0,10%).

En cuanto a los óxidos nitrosos (NOx), se adoptó un sistema similar, escalonado en fases, definiendo los límites de emisiones en gr NOx/kWh en función del régimen del motor. También se adoptaron zonas de control de emisiones de NOx con unos límites más estrictos, como son las zonas de control de emisiones de NOx del Mar del Norte y del Mar Báltico aplicable a los buques construidos a partir del 1 de enero de 2021 y que naveguen por dichos mares y las zonas próximas a Norte América y del Caribe de Estados Unidos a partir del 1 de enero de 2016.

El control de las emisiones de NOx es más difícil de realizar ya que requiere la medición de los gases con el motor en funcionamiento a un determinado régimen de revoluciones por lo que se realiza con el motor en el banco de pruebas y no vuelve a llevarse a cabo durante la vida operativa del buque.

Como hemos visto, la normativa internacional, europea y española establecen unos límites muy claros para las emisiones de SOx y NOx de los buques, sin embargo, los mecanismos de control de estas dejan huecos sin cubrir:

- Las emisiones de NOx sólo se pueden medir con el buque en navegación o con el motor en un banco de pruebas.
- Las muestras de combustible en uso se toman en puerto y se analizan mayoritariamente los combustibles de 0,10% de azufre y muy ocasionalmente aquellos de 0,50% de azufre.
- A los buques equipados con sistemas de limpieza de gases se les controla el funcionamiento de dicho sistema a través de los registros del mismo, pero no se les puede



El dron mide las emisiones posicionándose dentro de la pluma del buque, a una distancia prudencial del mismo.

hacer una medición para comprobar su calibración mientras están navegando.

El uso de drones para medir las emisiones de los buques

Para la medición de las emisiones de SOx y NOx de los buques se han utilizado tradicionalmente sensores remotos fijos, localizados en las orillas de ríos navegables, puentes y en las entradas de los puertos. Las mediciones realizadas con este tipo de dispositivos tienen un alto grado de incertidumbre ya que dependen siempre de que la dirección del viento reinante sea favorable y lleve las emisiones hacia los sensores.

También se han utilizado aviones de pequeño tamaño y helicópteros, dotados con sensores para esos gases, para medir las emisiones de los buques en navegación en alta mar. No obstante, poder captar apropiadamente las emisiones que salen por las chimeneas de los buques en navegación con esos medios resulta peligroso, tanto para el buque como para los medidores aéreos y, ciertamente, esas mediciones dependen mucho de la habilidad de los pilotos de las aeronaves puesto que deben introducir la aeronave y el sensor en la pluma de gases emitida por los buques. Todo ello sin olvidar el elevado coste-beneficio de estas operaciones.

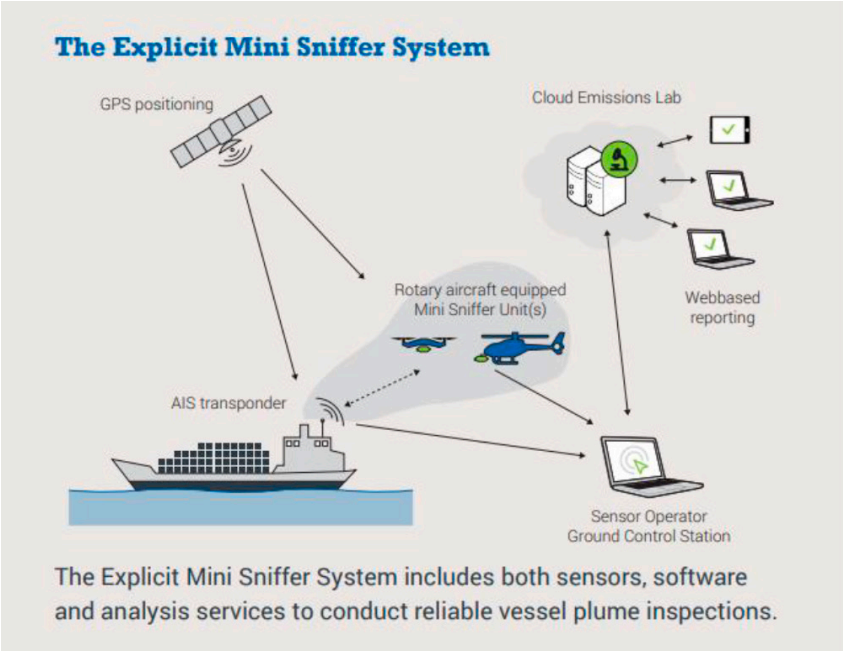
Vistas las necesidades de los Estados miembros de la Unión, la Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA) desarrolló un proyecto para la utilización de sistemas de aeronaves pilotadas remotamente -Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS, por sus siglas en inglés)-, comúnmente llamadas drones, con el fin de poder utilizar estos RPAS en mar abierto y asegurarse el cumplimiento de la legislación al respecto también en esas zonas.

Utilizando aeronaves no tripuladas, de tipo helicóptero, con capacidad de vuelo y transporte suficiente como para poder portar el peso del equipo propio del dron más el de los sensores, se puede efectuar el mismo trabajo sin poner en riesgo la vida de los tripulantes de las aeronaves y de los buques, posicionando al dron dentro de la pluma de emisiones del buque durante el tiempo necesario para asegurar la fiabilidad de la medida y sin sobrevolar nunca al buque para evitar riesgos.

Tras varias pruebas y las primeras misiones de control de las emisiones de los buques en las zonas de control del Mar Báltico y Mar del Norte, la Administración marítima española solicitó, en el año 2019, formalmente a la EMSA el despliegue de un RPAS en el área del Estrecho de Gibraltar, con previsión de comenzar los controles a partir de marzo de 2020, coincidiendo con la prevista entrada en vigor, el 1 de enero de ese año, del nuevo límite mundial de 0,50% en masa de contenido máximo de azufre en los combustibles marinos.

La EMSA contrató al operador noruego Nordic Unmmaned, AS para el despliegue de la aeronave Schiebel CAMCOPTER® S100, con despegue y aterrizaje vertical, equipado con sensores de gas y cámaras que cubren rangos espectrales ópticos e infrarrojos para detectar mejor los gases generados por la combustión y expulsados a través de las plumas de los barcos (chimeneas).

El dron tiene varias características que lo convierten en una herramienta muy útil para este servicio por su capacidad de despegar y aterrizar en un área menor de 25 metros cuadrados, una duración de vuelo de más de seis horas, una autonomía de más de 100 kilómetros y un



Procedimiento de medición de emisiones con drones.

rango de altura de hasta 3.650 metros.

Sensores de emisiones

Dos sensores de monitorización individuales, para SOx y NOx, de la empresa danesa "Explicit" (www.explicit.dk), están ubicados en la caja del sensor en el lado izquierdo del vehículo aéreo.

Los sensores comprenden todos los elementos de control electroquímicos necesarios para realizar mediciones de contenido de azufre en el combustible SOx y NOx de las plumas de los barcos.

El sistema de "Explicit" incluye una unidad Mini Sniffer (carga útil) y un software de estación de control terrestre (GCS) para identificar los buques y tomar muestras de sus plumas. Utilizando la carga útil y el software patentado de GCS, los equipos de pilotos de los drones pueden realizar inspecciones de azufre desde el aire.

Los pilotos durante las operaciones de vuelo.

Como se describe en la imagen de al lado, elaborada por "Explicit", los pilotos posicionan a la aeronave no tripulada acercándose por la popa para introducir el dron dentro de la pluma del buque, a una distancia y altura prudencial del mismo, pero nunca sobre el buque, manteniéndose dentro la misma hasta que desde el laboratorio se indica al piloto que la medición se ha realizado correctamente, lo que en circunstancias apropiadas puede llevar segundos o escasamente más de un minuto.

Además del sistema que permite pilotar el dron de manera remota, EMSA desarrolló un sistema informático (RPAS DC) que permite, desde un navegador web con conexión a internet, el seguimiento en tiempo real de las operaciones a la Central de Operaciones de la Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA) en Lisboa, al fabricante de los sensores que valida las mediciones en Dinamarca y a los usuarios del sistema. Dicho sistema cuenta, entre otras, con las siguientes funcionalidades:

- Sistema de información geográfica (GIS) con la posición en tiempo real del dron y de los buques que navegan en la zona, así como la zona de interés en la que por razones de seguridad aérea están restringidas las operaciones del dron.
- Imágenes de las cámaras del dron y del sensor de medición de gases en tiempo real.
- Servicio de mensajería instantánea entre pilotos, el laboratorio y los usuarios que participan en la misión.
- Repositorio de todos los archivos de las misiones que permite la visualización pos-

Medición de emisiones de un buque.

Imagen emitida por el dron poco después de su despegue, donde se puede apreciar la cercanía a la costa desde el helipuerto.

terior de cualquiera de las misiones realizadas.

Todas las mediciones de emisiones de los buques se introducen automáticamente en la base de datos desarrollada por EMSA, THETIS-EU, que es compartida por todos los Estados miembros de la Unión, y aquellos casos en que se detectan resultados superiores al límite de contenido de azufre, del 0,50%, se introduce una alerta sobre el buque en cuestión, lo que debe incrementar la posibilidad de que dicho buque sea inspeccionado a la mayor brevedad.

El estrecho de Gibraltar. Una localización idónea

Como se ha comentado anteriormente, por aguas del estrecho de Gibraltar navegan unos cien mil buques mercantes al año; buques de todo tipo que, en gran cantidad, son buques transportando mercancías desde países del lejano y medio Oriente hacia Europa y América.

Por tal motivo y, dada la proximidad de las rutas de los buques a la costa, conociéndose la peligrosidad de la afectación de las emisiones a las poblaciones y medio ambiente de las zonas costeras, interesaba conocer si el nuevo límite de contenido de azufre en el combustible se estaba cumpliendo por los buques a su paso por el Estrecho, y además interesaba dar a conocer a la comunidad marítima internacional que la Administración Marítima española estaba controlando ese cumplimiento y estaba comprometida con ello.

Se barajaron varios sitios desde donde se podría desplegar el RPAS pero, finalmente, gracias a la gran ayuda y colaboración prestada por los mandos y personal de la USAC CAMARINAL del Ejército de Tierra, perteneciente al Acuartelamiento El Bujeo, en Tarifa, se solicitó al Ministerio de Defensa, que autorizó a la DGMM poder usar parcialmente las instalaciones militares de su base localizada en punta Camarinal (Tarifa), lugar idóneo para el despliegue del RPAS por encontrarse en la misma línea de costa, evitando así que la aeronave sobrevolase zonas habitadas, por su situación cercana a la zona de separación de tráfico marítimo de Tarifa, por donde deben navegar todos los buques mercantes y disponer de helipuerto para su despliegue y aterrizaje.

A pesar de la intención de comenzar el despliegue del RPAS a partir de marzo de 2020, por culpa del brote de la pandemia de la Covid, no se pudo iniciar la tramitación para el despliegue del RPAS hasta pasado el verano del año 2020 y con las limitaciones sobrevenidas por ello, con reuniones por videoconferencias en lugar de presenciales con los distintos organismos intervinientes en una operación de este calibre. Todo ello, sumado a que otros Estados del Norte de Europa también solicitaron despliegues de RPAS, lo que provocó que hasta el 12 de julio de 2021 no pudiésemos comenzar los vuelos para la medición de las emisiones.

Desde entonces hasta la fecha de redacción de este artículo,

Federico Navarro, inspector de seguridad marítima, supervisando las operaciones de vuelo del dron desde la DGMM.

finales de octubre de 2021, se han realizado 335 mediciones de emisiones a buques, obteniéndose un 9,25% de resultados de emisiones de azufre superiores a 0,58% en masa (posibles incumplimientos al tener que añadir al límite legal de 0,50% la posible incertidumbre en la medición del sensor de azufre, y la incertidumbre asociada a la habilidad del piloto a la hora de introducir el dron en la pluma del buque en cuestión, sumado a las posibles variaciones en la dirección del viento durante la medición).

En dichos casos, además de la introducción de una alerta sobre el buque en la base de datos THETIS-EU de EMSA, la DGMM ha notificado de inmediato a las autoridades marítimas del próximo puerto de destino del buque, solicitando su inspección por el posible incumplimiento a lo dispuesto en el Anexo VI del MARPOL. Algunas de esas posteriores inspecciones han promovido expedientes sancionadores hacia los incumplidores.

Aunque no era el objeto del despliegue, se ha podido observar también el incumplimiento por parte de numerosos buques de los límites de emisiones de óxidos nitrosos, fijados en el nivel 2 de la Regla 13 del Anexo VI del MARPOL, lo que incide en seguir mejorando los sensores para la medición de estas emisiones, así como en preparar regulaciones que permitan la utilización de aeronaves remotamente tripuladas para las mediciones de estas emisiones.

Lecciones aprendidas con el uso de drones para la medición de emisiones

Aunque la localización elegida para el despliegue del RPAS es la idónea por el gran número de buques que navegan por el área de El Estrecho, se ha podido comprobar *in situ* la gran influencia de los fuertes vientos de Levante en la zona. Si bien la intensidad del viento sólo ha impedido el vuelo del dron unos diez días, sí hemos experimentado numerosos días en los que la intensidad del viento de levante era similar o ligeramente superior a la velocidad habitual de los buques en la zona de operaciones, lo que provocaba que el humo procedente de las chimeneas de los buques quedase sobre los mismos, evitando a la postre poder efectuar la medición por la prohibición impuesta de sobrevolar a los buques.

Por ello, muchos días los vuelos del dron se dedicaban a la vigilancia marítima y monitorización de los buques y del espacio marítimo.

No obstante, el RPAS desplegado ha demostrado la utilidad del mismo y del sistema. Con su utilización, las Capitanías Marítimas y, en general, las Administraciones Marítimas Europeas que compartimos la utilización de la base de datos THETIS-EU, podemos aumentar el número de controles y diferenciar los buques cumplidores con la implementación de los límites de azufre en el combustible, de los incumplidores, e incrementar con ello la presión inspectora en caso necesario.

Además, ha demostrado su valía en otros aspectos distintos a la función de medición de emisiones inicial, como por ejemplo, en funciones de salvamento de la vida humana en la mar: de hecho, un buque, al que se le había realizado poco antes la medición de sus emisiones, lanzó una llamada de emergencia al visualizar un náufrago en el agua a 16 millas de la costa y perderlo de vista. En breve tiempo fue localizado por el dron, que se mantuvo sobre el náufrago hasta que poco después pudo ser rescatado por el buque y trasladado a tierra por Salvamento Marítimo.

También se han dado casos en que se localizaron embarcaciones sospechosas de realizar narcotráfico y se informó de inmediato al Servicio de Vigilancia Aduanera.

El futuro próximo

Es claro que la utilización de aeronaves remotamente tripuladas para operaciones marítimas puede resultar más económico y seguro que utilizar aeronaves tripuladas. Además, durante el despliegue del RPAS realizado en aguas españolas, hemos podido

Náufrago localizado por el dron en la mar.

comprobar que se puede compartir el uso del sistema entre varios organismos, pudiendo dedicarse el dron para la monitorización de las emisiones de los buques y en otras ocasiones a la vigilancia marítima y posible localización de personas o embarcaciones en peligro o dedicadas a actividades ilícitas. De esta forma, varios organismos oficiales pueden estar siguiendo a la vez la transmisión de las imágenes emitidas por los sistemas del RPAS segundos después de ser visualizadas por los pilotos del dron y actuar en consecuencia, maximizando su utilidad.

Ahora bien, necesitamos agilizar los procedimientos para su utilización. La policía y guardacostas, la búsqueda y rescate, la prevención y respuesta a la contaminación, la vigilancia aduanera y control de la pesca ilegal, pueden necesitar la utilización en el ámbito marítimo de sistemas de aeronaves remotamente pilotadas de forma inmediata en caso de urgencia o emergencia y su despliegue no puede ser demorado por trámites administrativos.

Es lógico que en el ámbito de la navegación aérea la seguridad sea primordial, y en el ámbito marítimo también, pero la utilización de aeronaves remotamente tripuladas se va a limitar a alturas de vuelo inferiores a los mil pies de altura y localizadas en las cercanías del despegue y control de la aeronave, ya sea desde tierra o desde los propios buques de organismos estatales que los utilicen para sus funciones en la mar.

Además, en el caso del control de las emisiones a la atmósfera de los buques mediante sensores remotos, su utilización va a tender a ser como la de los radares en carretera. Hay emisiones de los buques que solo pueden ser medidas cuando los buques navegan, como es el caso de las emisiones de óxidos nitrosos, que únicamente se emiten cuando los motores están en funcionamiento. Esas emisiones se certifican cuando los buques y sus motores son nuevos, pero está claro que un motor debe ser apropiadamente mantenido y, de no ser así, sus emisiones no van a ser las mismas tiempo después de su construcción.

Es evidente que, si las Administraciones Marítimas tienen que cumplir con la normativa establecida, deben ser capaces de efectuar los controles necesarios e imponer, en su caso, las sanciones pertinentes. También para poner en valor a los que cumplen con las normas. Los RPAS están demostrando que pueden ser herramientas útiles en este sentido, por lo que el próximo paso debe ser legislar en consecuencia, delimitando la incertidumbre de las mediciones de los sensores y estableciendo un margen de error en las mismas, pero, superados estos márgenes, las mediciones de los drones deben servir legalmente para imponer sanciones y castigar a los incumplidores. ■

El Estrecho es una de las áreas marítimas más transitadas del mundo.