

DE LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN CUMBRE VIEJA A LA DANA: LA VERSATILIDAD OPERATIVA DE LOS VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS DEL INSTITUTO HIDROGRÁFICO DE LA MARINA

Introducción

EL Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) tiene como misión fundamental garantizar la seguridad de la navegación mediante la producción y el mantenimiento de la cartografía náutica oficial de España, así como de otros productos y servicios de información geoespacial marina y costera. Para ello, resulta esencial el registro y la actualización de una realidad física especialmente dinámica: la transición entre el medio marino y el terrestre, es decir, la línea de costa.

En los últimos años, la evolución tecnológica y la mayor frecuencia de fenómenos extremos han puesto de manifiesto la necesidad de contar con capacidades ágiles y versátiles de adquisición de datos geoespaciales. La erupción del volcán Cumbre Vieja en la isla de La Palma en 2021 y la depresión aislada en niveles altos (DANA) que afectó gravemente a la provincia de Valencia en 2024 son dos ejemplos paradigmáticos de episodios en los que la costa y el entorno inmediato han sufrido cambios bruscos, con importantes implicaciones para la seguridad marítima y la gestión de emergencias.

RPAS DJI Matrice 300 RTK, número de cola M-01.
(Fuente: IHM)





En este contexto, los vehículos aéreos no tripulados, o sistemas de aeronaves pilotadas de forma remota (RPAS, *remotely piloted aircraft systems*), se han consolidado en el IHM como una herramienta eficaz para la adquisición y procesado de información geoespacial de alta resolución. Desde 2021, el IHM ha incorporado a su cargo cuatro RPAS modelo *DJI Matrice 300 RTK* y *DJI Matrice 350 RTK*, equipados con sensores fotográficos, LiDAR (*light detection and ranging*) y cámaras multispectrales. Estas plataformas han permitido desarrollar capacidades como la actualización rápida de la línea de costa, la generación de modelos digitales del terreno y la obtención de perfiles de playa para el apoyo naval en operaciones de desembarco anfibio.

En la actualidad, las cargas de pago¹ empleadas en estos sistemas son la cámara fotogramétrica Zenmuse P1, destinada a la obtención de imágenes de alta resolución para la generación de ortofotografías y modelos digitales del terreno; el sensor Zenmuse L1 de DJI, que integra un sistema LiDAR con cámara

y unidad inercial para la adquisición de nubes de puntos densas y precisas, y la cámara multispectral Micasense, utilizada para la caracterización del terreno y de la vegetación en diferentes bandas espectrales. La combinación de estos sensores permite adaptar cada misión a los objetivos específicos de reconocimiento, medición o evaluación de daños.



Tres diferentes cargas de pago que pueden incorporar los RPAS del IHM: P1, L1 y Micasense. (Fuente: IHM)

1. La carga de pago de un dron es todo aquello que éste transporta o incorpora además de sus elementos necesarios para volar (motores, baterías, controladores, estructura, etcétera).

El presente artículo expone, en primer lugar, el marco jurídico que da soporte a la misión cartográfica del IHM y al carácter oficial de la cartografía náutica que produce. A continuación, describe la transición desde los métodos tradicionales de adquisición de datos —vuelos fotogramétricos tripulados, campañas topográficas y levantamientos hidrográficos— hacia el empleo sistemático de RPAS. Finalmente, se presentan dos casos de empleo recientes que ilustran la versatilidad operativa de estos sistemas: la actualización de la línea de costa en La Palma tras la erupción del volcán Cumbre Vieja y el apoyo a la Unidad Militar de Emergencias (UME) durante la DANA que afectó a Valencia en 2024.

Planeamiento, adquisición y procesado de las operaciones con RPAS

El empleo de estos sistemas se encuentra condicionado por la normativa vigente sobre aeronaves pilotadas de forma remota. A nivel nacional, la Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA) regula el uso de RPAS, mientras que en el ámbito militar el jefe de Estado Mayor del Ejército del Aire y del Espacio (JEMA) establece que los vuelos efectuados por unidades militares se encuadran como vuelos «no AESA», siempre que se cumplan determinadas condiciones: operar con RPAS de menos de 15 kg de peso máximo al despegue (MTOW) y volar a la vista del piloto (VLOS) a

alturas inferiores a 120 m sobre el terreno, en condiciones diurnas y fuera de espacios aéreos controlados o zonas de información de vuelo, salvo coordinación previa. Asimismo, las operaciones deben realizarse alejadas de aglomeraciones de edificios y de aeródromos, y el piloto debe ser capaz de intervenir en todo momento sobre la aeronave, no permitiéndose operaciones completamente autónomas en espacio aéreo no segregado².

Con este marco regulador, el IHM ha desarrollado instrucciones y procedimientos específicos para el planeamiento, ejecución y procesado de las misiones con RPAS en comisiones hidrográficas. El objetivo es homogeneizar la forma de trabajar, garantizar el cumplimiento de la normativa y asegurar que los datos geoespaciales obtenidos alcanzan los estándares de precisión exigidos para su uso cartográfico, tanto en la delimitación de la línea de costa como en la caracterización detallada de playas y puertos.



En términos generales, cada misión se estructura en tres fases bien diferenciadas: planeamiento, ejecución y procesado. En la fase de planeamiento se analizan el terreno, la accesibilidad, los posibles peligros y las restricciones aéreas, se coordinan las operaciones con la autoridad portuaria y con la Unidad PEGASO (Policía Especialista en Gestión Aeronáutica y de Seguridad Operacional) de la Guardia Civil cuando procede, se estudian las condiciones medioambientales

2. El espacio aéreo no segregado es aquél en el que vuelan simultáneamente diferentes tipos de aeronaves (tripuladas y no tripuladas) sin reservarlo en exclusiva para ninguna de ellas.

previstas y se definen los parámetros de vuelo (altura, velocidad, solapes y rumbo de las pasadas, entre otros). Asimismo, se comprueba la existencia de puntos de control del terreno y, en caso necesario, se materializan y observan nuevos puntos de apoyo o control mediante receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Para los vuelos fotogramétricos³ destinados a la obtención de la línea de costa y de detalles portuarios, el sensor más empleado es la cámara Zenmuse P1. Habitualmente se trabaja con alturas de entre 80 y 100 m sobre el terreno, velocidades del orden de 10 m/s y solapes frontales y laterales en torno al 80 y 70 por 100, respectivamente, ajustando estos parámetros en función del relieve y de la resolución requerida. Antes del vuelo se despliegan y miden los puntos de apoyo sobre el terreno, y durante la misión se mantiene en todo momento contacto visual con el RPAS, aplicando los procedimientos de emergencia establecidos en caso de pérdida de enlace o degradación de la señal GNSS.

En los vuelos con sensor LiDAR topográfico, generalmente orientados a la obtención de perfiles de playa y modelos detallados del relieve costero, se opera con alturas típicas en torno a los 80 m y solapes laterales del orden del 50 por 100, configurando el Zenmuse L1 para trabajar con modos de exploración no repetitivos y frecuencias de disparo adecuadas a la densidad de puntos deseada. Cuando no es posible recibir correcciones en tiempo real mediante RTK (*real time kinematic*), los datos pueden post-procesarse posteriormente en modo PPK

(*post-processed kinematic*), de acuerdo con la guía interna de procesamiento de datos obtenidos mediante vehículos autónomos.

En el caso de la cámara multiespectral Micrasense, el objetivo principal es la obtención de batimetría derivada y de índices espectrales útiles para el análisis del medio litoral. Además de los requisitos generales, se verifica que existan datos batimétricos previos que puedan utilizarse como puntos de control durante el procesamiento. Los vuelos se planifican con alturas similares a las de la fotogrametría clásica, configurando solapes elevados y una cadencia de disparo suficiente para asegurar la cobertura multibanda. Tras la toma de datos, se realiza la calibración radiométrica y el procesamiento en *software* específico, correlacionando los resultados con los datos batimétricos de referencia, siempre teniendo en cuenta la influencia de factores como la turbidez del agua en la calidad de la batimetría derivada. A día de hoy, la batimetría derivada obtenida a partir de estas imágenes todavía no ofrece, de forma sistemática, los resultados esperados, principalmente debido a la turbidez del agua y a la dificultad para identificar puntos homogéneos estables en la superficie del mar.

Con independencia del sensor empleado, todas las misiones concluyen con la elaboración de un informe básico de vuelo, en el que se registran la identificación de la comisión, la fecha, la zona, la duración, el operador y el volumen de datos adquirido, junto con cualquier incidencia relevante. La información se procesa con aplicaciones como Pix4D y DJI Terra, que permiten obtener modelos digitales de

3. Son operaciones aéreas planificadas cuyo objetivo es obtener fotografías aéreas con solape y geometría controlada para generar productos cartográficos de alta precisión, como ortofotos, modelos digitales del terreno (MDT), nubes de puntos, cartografía métrica, reconstrucciones 3D, etcétera.

superficie, modelos digitales del terreno, ortofotografías y nubes de puntos en formatos interoperables con los sistemas de información geográfica corporativos. El cumplimiento de estos procedimientos garantiza la trazabilidad y la calidad de los productos geoespaciales generados a partir de los RPAS del IHM.

Marco jurídico y misión del Instituto Hidrográfico de la Marina

La actividad cartográfica del IHM se inscribe en el marco general de la Ley 7/1986, de Ordenación de la Cartografía, que regula la producción cartográfica del Estado y establece qué organismos están habilitados para generar cartografía oficial. Esta ley configura la denominada Cartografía Oficial de Estado y determina las condiciones que debe cumplir para su validez jurídica y su utilización en ámbitos técnicos, administrativos y operativos.

En desarrollo de esta norma, el Real Decreto 1545/2007, por el que se regula el Sistema Cartográfico Nacional, distribuye competencias entre los distintos organismos productores de información geográfica. En este contexto, se reconoce que corresponde a la Administración General del Estado, a través del Instituto Hidrográfico de la Marina, la formación y conservación de la cartografía náutica básica. Esta disposición sitúa al IHM en un plano equiparable al del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en el ámbito de la cartografía terrestre, otorgando a su producción la condición de Cartografía de Estado.

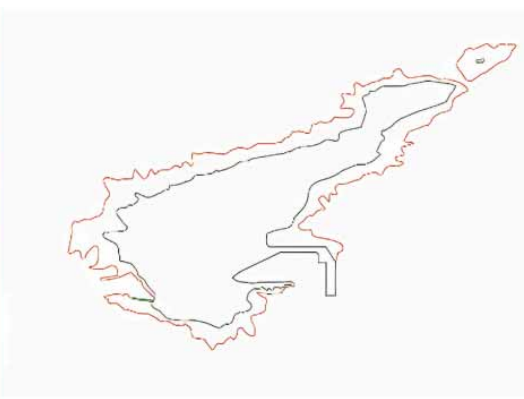
Como consecuencia, las cartas y publicaciones náuticas editadas por el IHM tienen el carácter de documentación oficial de uso preceptivo para el navegante en las aguas de responsabilidad española. No se trata úni-

camente de productos técnicos, sino de referencias oficiales que deben ser utilizadas para garantizar la seguridad de la navegación y el correcto desarrollo de las actividades marítimas.

Dentro de estas competencias, la línea de costa adquiere una relevancia especial. Su determinación y actualización periódica son esenciales tanto para la representación cartográfica de las zonas costeras como para la definición precisa de sondas, zonas de resguardo y áreas de navegación segura. Al mismo tiempo, la línea de costa constituye una referencia básica para el Registro Central de Cartografía y para numerosos procedimientos administrativos relacionados con el dominio público marítimo-terrestre y la ordenación del litoral.

En este marco jurídico, la incorporación de nuevas tecnologías de observación —como los sensores embarcados en RPAS— no altera la naturaleza de la misión del IHM, sino que amplía las herramientas disponibles para cumplirla. La capacidad de registrar, con alta resolución y en plazos muy reducidos, cambios súbitos en la morfología del litoral, ya sean causados por una erupción volcánica, por temporales o por inundaciones repentinas, refuerza la posición del IHM como organismo responsable de mantener actualizada la cartografía náutica básica y los productos geoespaciales asociados a la zona costera.

Desde el punto de vista de la cartografía náutica, el IHM define la línea de costa como una línea doble, compuesta por la *línea de la pleamar* y la *línea de la bajamar*. De este modo, delimita en sentido horizontal la zona de transición entre la tierra y el mar allí donde las mareas son apreciables, mientras que ambas líneas se confunden en una sola donde no lo



Ejemplo de línea de costa doble definida por las líneas de pleamar y bajamar en el islote de Alborán. (Fuente: IHM)

son o, aun siéndolo, no exista zona de transición debido a la verticalidad del terreno o a la existencia de una construcción artificial permanente. La línea de pleamar es la línea horizontal que queda determinada por el máximo avance de la marea hacia tierra, mientras que la línea de bajamar viene determinada por el cero hidrográfico o bajamar escorada.

Un ejemplo representativo de esta definición aplicada a una zona concreta del litoral se muestra en la anterior imagen, donde puede apreciarse la doble línea de costa en un entorno insular, el islote de Alborán.

De la cartografía tradicional al empleo de RPAS en el IHM

Hasta la incorporación de los RPAS, el IHM dependía en gran medida de los vuelos fotogramétricos realizados por el Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire y del Espacio (CECAF) para la obtención de ortofotografías con las que restituir y vectorizar la línea de costa en la cartografía náutica. Esta cooperación ha sido y sigue siendo fundamental; sin embargo, en ocasiones la no disponibilidad de vuelos o las averías en la cá-

mara digital del CECAF obligaban a recurrir a las ortofotografías del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), producidas por el Instituto Geográfico Nacional. Aunque de gran calidad, la frecuencia de actualización del PNOA —en torno a los tres años— resultaba poco adecuada para responder a necesidades urgentes de actualización cartográfica, especialmente tras episodios que modifican de forma rápida y sustancial la costa.

Por otro lado, la obtención de perfiles de playa para el apoyo naval en operaciones anfibias se realizaba mediante técnicas de topografía clásica y levantamientos hidrográficos. Con marea baja, se ejecutaba una malla de puntos en la zona intermareal utilizando receptores GNSS, con una resolución espacial típica del orden de 25 metros. Posteriormente, con marea alta, se efectuaba un levantamiento hidrográfico con botes y sondadores monohaz, manteniendo una separación similar entre líneas de sonda. Estos métodos, aunque precisos, requerían un esfuerzo considerable de personal y tiempo y ofrecían una resolución limitada del modelo digital del terreno.

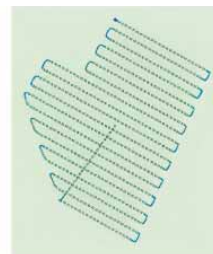
La introducción de los RPAS ha permitido superar muchos de estos condicionantes.



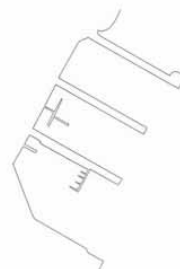
Ortofotografía



MDE



PRODUCTOS



Proceso de elaboración de la línea de costa en la Base Naval de Puntales (Fuente: IHM)

Mediante vuelos autónomos planificados, el IHM puede seleccionar la hora exacta de la operación, eligiendo, por ejemplo, días de mareas vivas para captar la línea de costa tanto en bajamar como en pleamar. En cada vuelo de unos 40 minutos, y a una altura de aproximadamente 120 metros sobre el terreno (AGL, *above ground level*), los sistemas actualmente en servicio son capaces de fotografiar del orden de 100 hectáreas con alta resolución.

A partir de las imágenes obtenidas, y con técnicas de fotogrametría, generación de nubes de puntos y teledetección, se generan modelos digitales del terreno (MDT) muy detallados de zonas de playa y costa, así como ortofotografías

recientes que sirven tanto para la actualización cartográfica como para el análisis de la trafabilidad⁴ de la fuerza de desembarco. De este modo, se reduce significativamente el tiempo de adquisición, se incrementa de forma exponencial la densidad de puntos del modelo y se dispone de un producto geoespacial mucho más rico y versátil.

Como contrapartida, el empleo de RPAS presenta varias limitaciones, entre las que destacan la reducida autonomía de las baterías y la obligación de operar dentro del alcance visual del aparato. Estas restricciones condicionan la extensión de las áreas que pueden cubrirse en una sola jornada y exigen

4. Trafabilidad es un concepto que describe la capacidad de un terreno, vía o superficie para permitir el movimiento seguro y eficiente de personas, vehículos o equipos.



Operación de un RPAS DJI Matrice 300 RTK del IHM sobre las coladas de lava en la isla de La Palma. (Fuente: IHM)

una planificación minuciosa de cada misión. Cabe señalar no obstante que, además de las operaciones VLOS, el IHM puede programar misiones BVLOS (más allá de la línea de visión) mediante la oportuna segregación del espacio aéreo, conforme a los procedimientos vigentes y siempre que las características del entorno y los objetivos de la comisión así lo recomienden.

Sin embargo, los beneficios en términos de rapidez, resolución y flexibilidad han hecho que los RPAS se hayan convertido ya en una herramienta habitual en las comisiones hidrográficas del IHM, especialmente en aquellas centradas en la actualización de la línea de costa y la evaluación de playas de interés para operaciones navales.

Actualización de la línea de costa en La Palma tras la erupción del volcán Cumbre Vieja

Entre las comisiones hidrográficas en las que se ha empleado el RPAS, destaca la llevada a cabo para la actualización de la línea de costa de la isla de La Palma tras la erupción del volcán Cumbre Vieja en 2021. Este episodio supuso la creación de nuevas superficies emergidas, fruto de las coladas de lava que alcanzaron el mar y ganaron terreno al océano, alterando de forma profunda tanto la batimetría somera como la configuración del litoral.

El 20 de marzo de 2023, una vez que el buque hidrográfico *Tofiño* hubo realizado el levantamiento hidrográfico en la zona afectada por

la erupción, una comisión formada por dos hidrografos se desplazó a la isla de La Palma. El objetivo principal era completar el trabajo del buque mediante un levantamiento fotogramétrico con RPAS sobre las coladas que habían penetrado en la mar a fin de actualizar la línea de costa y generar productos geoespaciales detallados de las nuevas superficies. Tras un análisis previo de las zonas afectadas, de los puntos de operación de vuelo y de la duración estimada de las misiones, se diseñó una planificación que permitiera aprovechar al máximo las ventanas de bajamar. En dos jornadas consecutivas, y coordinando cuidadosamente los despegues con el ciclo de mareas, se fotografió la totalidad de la superficie de las dos coladas que alcanzaron el mar, cubriendo las áreas en las que la lava había ganado terreno al océano.

Entre vuelo y vuelo se fue procesando de forma preliminar la información obtenida, lo que permitió validar sobre el terreno la calidad de los datos y confirmar que se estaban alcanzando las resoluciones y coberturas

previstas. Una vez finalizado el levantamiento fotogramétrico en la zona de las coladas, y aprovechando la presencia del equipo en la isla, se procedió a actualizar la línea de costa del puerto de Santa Cruz de La Palma, una tarea técnicamente más sencilla pero igualmente relevante para la cartografía náutica.

En poco menos de 20 horas de trabajo efectivo se logró completar un conjunto de tareas que, empleando únicamente métodos tradicionales, habría resultado mucho más costoso y menos eficiente. Los RPAS permitieron obtener ortofotografías recientes, modelos digitales del terreno y una nueva línea de costa vectorizada, todo ello integrado posteriormente en la cartografía náutica oficial y en el Registro Central de Cartografía. De esta forma, el IHM pudo dar una respuesta rápida y precisa a un cambio súbito de la realidad física del litoral, cumpliendo con su obligación de mantener actualizada la cartografía náutica básica en un escenario particularmente complejo.

Vista general de las coladas del volcán Cumbre Vieja que alcanzaron la mar en la isla de La Palma. (Fuente: GRAFCAN)





Integración de la nueva línea de costa y de la ortofotografía generada con RPAS en la carta náutica electrónica del IHM. (Fuente: IHM)

Apoyo a la gestión de la emergencia en Valencia tras la DANA de 2024

El segundo caso que ilustra la versatilidad operativa de los RPAS del IHM se sitúa en un contexto diferente: el de la gestión de una emergencia civil de gran magnitud. Tras el fatídico 29 de octubre de 2024 en que la DANA que afectó a la provincia de Valencia causó graves daños materiales y personales, la UME se puso en contacto con el Instituto Hidrográfico de la Marina para solicitar información detallada sobre sus capacidades de adquisición de datos del terreno mediante RPAS.

La lógica de la operación apuntaba a varias prioridades claras: determinar el espesor de los sedimentos depositados tras las avenidas de agua (comparando modelos digitales del terreno anteriores y posteriores al evento), obtener fotografías de alta resolución que permitieran identificar objetos y obstáculos, evaluar la traficabilidad del terreno para la maquinaria pesada y documentar el estado

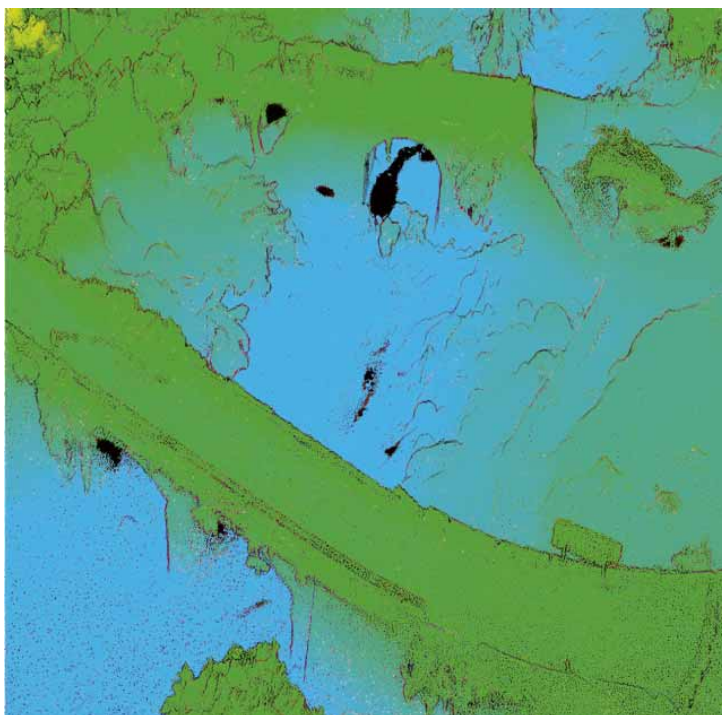
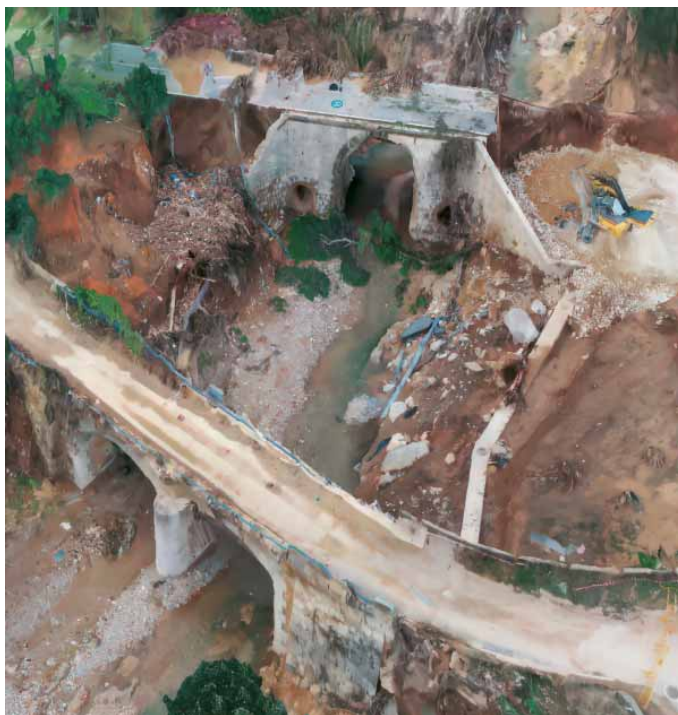
de infraestructuras críticas. En esencia, se trataba de aplicar a un escenario de emergencia muchas de las mismas técnicas hidrográficas y geoespaciales que el IHM emplea habitualmente en sus trabajos de rutina, pero adaptadas a las necesidades y ritmos propios de una operación de respuesta a una catástrofe.

Desde la activación por parte de la UME el 4 de noviembre, y en menos de 48 horas, una comisión de cuatro personas del IHM se desplazó a la Base Militar «Jaime I», en la localidad de Bétera (Valencia). Nada más salir de Cádiz, el equipo quedó integrado como *Task Group* (TG) HALCÓN dentro de la fuerza operativa mandada por el general del Tercio de Armada (GETEAR), designada como *Task Force* (TF) MARTE, que a su vez formaba parte de la fuerza global bajo el mando de la UME.

Desde las primeras horas del 6 de noviembre, y siempre coordinadas por la Unidad de Drones de la UME, se comenzaron a ejecutar las misiones asignadas. Una de las primeras tareas

consistió en el levantamiento de una nube de puntos de alta densidad para crear un gemelo digital del puente que unía las localidades de Buñol y Alborache, infraestructura clave para las comunicaciones en la zona. Mediante vuelos fotogramétricos cuidadosamente planificados, se obtuvo un modelo tridimensional de gran detalle que permitió analizar la integridad estructural del puente y apoyar la toma de decisiones sobre su uso y posibles intervenciones.

A continuación, la comisión se desplazó al embalse de Buseo, donde existían indicios



de que la presa podía haber sufrido daños. Se llevó a cabo un vuelo con sensor LiDAR, orientado a obtener un control dimensional preciso de la estructura. Los datos resultantes permitieron documentar de forma gráfica una fractura de casi seis metros en el margen derecho de la presa, información crítica para la evaluación de riesgos y para la planificación de las medidas de seguridad y reparación.

Detalle de nube de puntos, modelo 3D y clasificación del terreno del puente romano entre Buñol y Alborache. (Fuente: IHM)

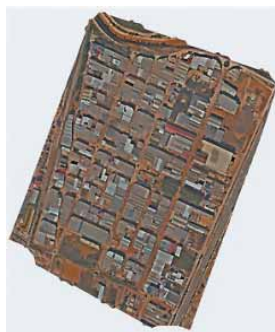
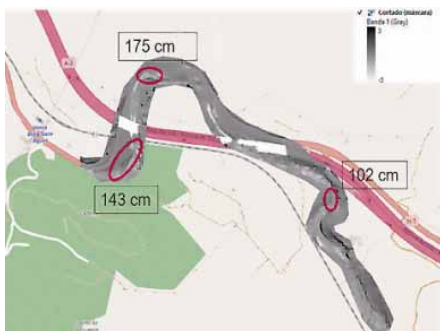


Vista aérea de la presa de Buseo tras la DANA, en la que se aprecia el sector afectado por la fractura detectada mediante datos LiDAR. (Fuente: IHM)

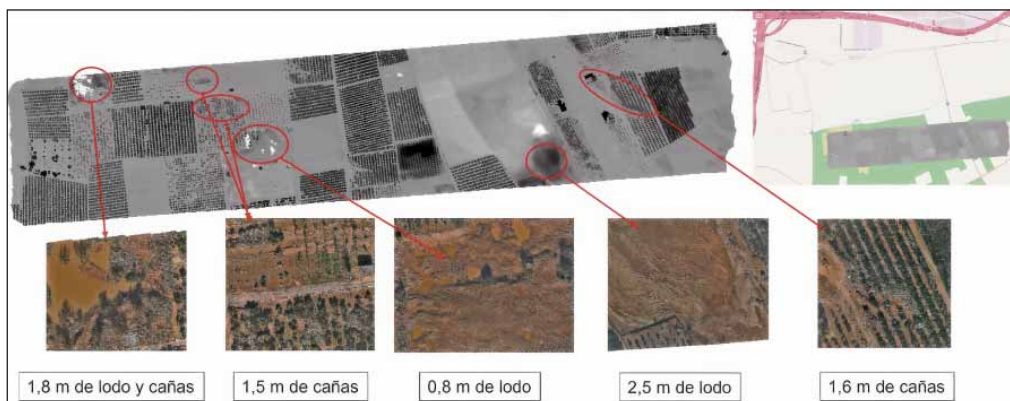
En los días siguientes, el equipo del IHM continuó generando productos geoespaciales y modelos 3D destinados al análisis detallado de las zonas afectadas. Gracias a la alta precisión y

resolución de los datos obtenidos, el centro coordinador de la emergencia (CECOPI) pudo decidir con mayor fundamento qué tipo de maquinaria resultaba más adecuada para la

búsqueda de objetos, la retirada de sedimentos y la restitución de la normalidad en las áreas más dañadas.



Ejemplos de productos geoespaciales ofrecidos a la UME: mapas de espesor de sedimentos y ortofotografía de alta resolución. (Fuente: IHM)



Detalle de la estimación del espesor de sedimentos a partir de la comparación entre modelos digitales del terreno pre y pos-DANA. (Fuente: IHM)

Entre los productos generados destacaron los mapas de espesor de sedimento, obtenidos a partir de la comparación entre modelos digitales del terreno previos (cuando existían) y posteriores al episodio, así como ortofotografías que permitían seguir la evolución de la emergencia y el estado de carreteras, accesos y acumulación de vehículos.

Tras dos semanas intensas de trabajo, las labores prioritarias fueron concluyendo y la actividad se orientó progresivamente hacia productos de carácter más gráfico destinados al seguimiento de la evolución de la emergencia y a la documentación de daños. Una vez cumplidos los objetivos asignados y finalizada la participación del IHM en la operación, la comisión fue desactivada y pudo replegarse a su base con la satisfacción de haber demostrado, en un entorno complejo y exigente, la utilidad de los RPAS como herramienta de apoyo a la gestión de crisis.

Conclusiones y líneas de desarrollo futuro

Los casos de la erupción del volcán Cumbre Vieja y de la DANA de 2024 en Valencia muestran

que el empleo de vehículos aéreos no tripulados en el IHM no constituye una mera innovación tecnológica, sino una verdadera ampliación de las capacidades operativas al servicio de su misión legalmente encomendada.

En el ámbito estrictamente hidrográfico y cartográfico, los RPAS han demostrado ser una herramienta eficaz y eficiente para la adquisición de información geoespacial de alta resolución, especialmente en escenarios de cambio rápido de la línea de costa. La posibilidad de planificar vuelos en función de las mareas, de reducir los tiempos de adquisición de datos y de aumentar de forma notable la densidad de puntos de los modelos digitales del terreno suponen una mejora sustancial respecto a los métodos tradicionales, sin sustituirlos por completo, pero sí complementándolos de forma muy valiosa.

En el terreno del apoyo a la gestión de emergencias, los RPAS del IHM han mostrado su capacidad para integrarse en estructuras conjuntas, como las lideradas por la UME, y para proporcionar productos geoespaciales directamente explotables: gemelos digitales de infraestructuras, mapas de espesor de

sedimentos, ortofotografías de alta resolución y análisis de traficabilidad, entre otros. Esta versatilidad refuerza la dimensión dual, militar y de apoyo a las autoridades civiles, que caracteriza a muchas de las capacidades de las Fuerzas Armadas.

Mirando al futuro, el IHM trabaja ya en la adquisición de RPAS de ala fija, que proporcionarán mayores autonomías de vuelo y permitirán cubrir áreas más extensas en menos tiempo. De igual modo, se contempla la incorporación de sensores topo-batimétricos, capaces de proporcionar información simultánea sobre la

topografía terrestre y las sondas de aguas someras, lo que abrirá nuevas posibilidades para la actualización de la cartografía náutica y para el análisis de zonas de interés para operaciones anfibas.

En definitiva, la experiencia acumulada confirma que el uso de RPAS para la adquisición y procesamiento de información geoespacial se ha consolidado como una opción plenamente integrada en las capacidades del Instituto Hidrográfico de la Marina, alineada con su marco legal, y con un amplio potencial de desarrollo en los próximos años.

BIBLIOGRAFÍA

Ley 7/1986, de 24 de enero, de Ordenación de la Cartografía. *Boletín Oficial del Estado*.

Real Decreto 1545/2007, de 23 de noviembre, por el que se regula el Sistema Cartográfico Nacional. *Boletín Oficial del Estado*.