



# Conocimiento y transferencia de tecnología sobre vehículos aéreos y acuáticos para el desarrollo transfronterizo de ciencias marinas y pesqueras

Informe técnico

Actividad 1. Estado del arte sobre vehículos aéreos y marinos en ciencias marinas y pesqueras

Informe sobre características técnicas necesarias para obtención de datos con RPAS en regiones costeras de gran amplitud

Producto final – Acción 1.1 | 30/12/2019



**Nombre del Proyecto:** KTTSeaDrones - Conocimiento y transferencia de tecnología sobre vehículos aéreos y acuáticos para el desarrollo transfronterizo de ciencias marinas y pesqueras

**Código del proyecto:** POCTEP 0622-KTTSEADRONES-5-E

#### Datos del proyecto

<b>Localización</b>	España y Portugal		
<b>Fecha de inicio</b>	01/10/2017		
<b>Fecha de finalización</b>	31/12/2021	<b>Prórroga hasta</b>	--
<b>Financiación total</b>	€ 1.120.864,43		
<b>Contribución UE</b>	€ 840.648,32		
<b>Cofinanciación UE (%)</b>	75%		

#### Datos del beneficiario principal (BP)

<b>Beneficiario principal</b>	Universidad de Huelva
<b>Persona de contacto</b>	Vicerrector de Investigación y Transferencia
<b>Dirección</b>	C/ Cantero Cuadrado 6, 21004 Huelva
<b>Teléfono</b>	+34 959 218013
<b>E-mail</b>	kttseadrones@gmail.com
<b>Página WEB (proyecto)</b>	<a href="https://kttseadrones.wixsite.com/kttseadrones">https://kttseadrones.wixsite.com/kttseadrones</a>

#### Datos del documento

<b>Nombre</b>	Informe sobre características técnicas necesarias para obtención de datos con RPAS en regiones costeras de gran amplitud
<b>Acción</b>	Acción 1.1. Sistema aéreo tripulado remotamente para la gestión a escala regional de la vulnerabilidad
<b>Autores</b>	Luis Barbero González (UCA)
<b>Equipo técnico</b>	Javier Benavente González (UCA) Laura del Río Rodríguez (UCA) Santiago García López (UCA) Juan Antonio López Rámirez (UCA)

<b>Jefes de fila de los equipos de trabajo del partenariado</b>	Universidad de Huelva <i>Juan Carlos Gutiérrez Estrada</i> <i>Fernando Gómez Bravo</i> <i>Antonio Peregrín Rubio</i> Universidad de Cádiz <i>Manuel Bethencourt Núñez</i> <i>Luis Barbero González</i> Universidad del Algarve Jorge Semião Ayuntamiento de Isla Cristina <i>Marta González Cabrera</i>
<b>Fecha</b>	30/12/2019
<b>Versión (nº)</b>	1.0

Las opiniones presentadas en este informe comprometen únicamente a los beneficiarios del proyecto y, en consecuencia, no representan en ningún caso la opinión oficial de los órganos de gestión del POCTEP.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>2. FOTOGRAMETRÍA CON UAV</b> .....	6
2.1. FOTOGRAMETRÍA DIGITAL.....	6
2.2. FOTOGRAMETRÍA DIGITAL SIN APOYO EN TIERRA.....	8
2.3. FOTOGRAMETRÍA DIGITAL MEDIANTE GEORREFERENCIACIÓN DIRECTA (DG).....	9
<b>3. TIPOLOGÍA DE DRONES AÉREOS</b> .....	11
<b>4. SISTEMAS DE PROPULSIÓN</b> .....	12
<b>5. SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA</b> .....	12
<b>6. SENSORES ABORDO</b> .....	13
<b>7. REFERENCIAS</b> .....	16

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Principio general usado en fotogrametría digital desde drones (elaboración propia).....	6
<b>Figura 2.-</b> (a) Multirrotor con sensor RGB preparado para tomar imágenes en un sector costero. (b) Posicionamiento de puntos de control en tierra (GCP); (c) Patrón de vuelo y posición de las fotografías tomadas; (d) Ajuste de los GPC durante el proceso de elaboración de los productos fotogramétricos; (e) Modelo digital obtenido mediante procesado con software Pix4D (elaboración propia).....	7
<b>Figura 3.-</b> Ejemplo de un procesado fotogramétrico con situación de las imágenes y y la nube de puntos 3D generada y coloreada con las imágenes RGB.....	8
<b>Figura 4.-</b> Esquema representado el uso del GPS-RTK en donde se pueden observar las comunicaciones entre el dron y la constelación de satélites y entre los satélites y la estación de tierra posicionada con precisión.....	9
<b>Figura 5.-</b> Tipología de drones según (Hassanallan & Abdelkelf, 2017).....	11
<b>Figura 6.-</b> Distintos tipos de sensores embarcados en drones. De izquierda a derecha y arriba abajo: Sensor RGB, pantalla de control de sensor térmico; Sensor multiespectral de cuatro bandas y RGB; Sensor multiespectral de seis bandas; sensores térmicos (elaboración propia).....	13

# **Acción 1.1. Informe sobre características técnicas necesarias para obtención de datos con RPAS en regiones costeras de gran amplitud**

## **RESUMEN**

El presente informe resume los principales argumentos a tener en cuenta a la hora de elegir un sistema de vehículos aéreos no tripulados (UAV en su acrónimo inglés más comúnmente usado) para la realización de estudios en sectores costeros o litorales. Se realiza en primer lugar una revisión del estado del arte de los estudios de dinámica en costas para pasar a continuación a abordar tanto los tipos de plataformas, sistemas de motorización y de energía que se pueden usar, así como los principios en los que se basa la fotogrametría y que son claves a la hora de elegir el sistema de georreferenciación a bordo del UAV. Finalmente se presenta un resumen de los principales sensores que se pueden embarcar en un UAV y que son de interés en sistemas costeros y litorales.

## **1.- INTRODUCCIÓN**

Las regiones costeras proporcionan una enorme variedad de recursos que permiten el desarrollo de actividades humanas como la industria, el transporte y el turismo. Debido a esta explotación intensiva y al mayor porcentaje de población en estas áreas, la estabilidad de los sistemas costeros se ha visto extremadamente comprometida (Wong et al. 2014). Por otro lado, las áreas costeras son uno de los entornos más dinámicos que existen en el planeta (Davis y Fitzgerald 2004) y se ven afectados por procesos continentales y marinos muy diversos (olas, mareas, corrientes oceánicas, vientos y descargas fluviales) que interactúan a diferentes escalas temporales y espaciales. Son áreas, por lo tanto, particularmente vulnerables a los impactos relacionados con el cambio climático, en concreto con el aumento del nivel del mar y el incremento en la magnitud o frecuencia de las tormentas (Wong et al. 2014). Todas estas interacciones pueden dar lugar a procesos de erosión costera que a menudo tienen graves consecuencias en las costas del mundo (Davis y Fitzgerald 2004).

Como consecuencia, es necesario realizar estudios de seguimiento de las costas de forma continua y sostenible. El conocimiento de la respuesta de las áreas litorales (especialmente las costas arenosas) frente a los factores y los procesos que causan cambios morfológicos en las mismas es crucial para analizar en última instancia su evolución a corto, mediano y largo plazo (Stive et al. 2002; Klemas 2009). Las olas y

corrientes que se aproximan oblicuamente a la costa y oblicuas derivadas de la acción de las tormentas son responsables de los cambios más significativos en la morfología costera (Davis y Fitzgerald 2004). De hecho, las tormentas son los procesos naturales más dominantes responsables de la erosión de las playas a corto plazo, y de su retirada a largo plazo hacia el interior (Sallenger 2000). Cada régimen crea magnitudes y patrones únicos y distinguibles de procesos netos de erosión / acreción.

Los cambios morfológicos en las costas derivados de las tormentas y la evolución costera en general se han registrado y monitorizado mediante numerosas técnicas de teledetección: imágenes de satélite (Mason et al. 1995; Sekovski et al. 2014), fotogrametría aérea en aeronaves tripuladas (Fisher y Overton 1994; Schwarzer y col. 2003; Puig et al., 2014), o LiDAR (Sallenger et al. 2003; Armaroli et al. 2012; Durán et al. 2016), combinados con los métodos basados en tierra mediante instrumentos de topografía como los sistemas de posicionamiento global diferencial cinemático en tiempo real (RTK-DGPS) (Nebel, Trembanis y Barber 2012) o el escáner láser terrestre (Hoffmeister et al. 2012; Almeida et al. 2014). Sin embargo, dado que los fenómenos costeros actúan en rangos de escala temporal y espacialmente amplios (Wieneke 1991; Short 1999; Schwarzer et al. 2003), al analizar la idoneidad de una técnica frente a otra, es necesario encontrar el equilibrio correcto entre el tiempo, las capacidades de cobertura espacial y espacial que ofrece cada método, así como la precisión de los resultados obtenidos y los costos asociados, que también dependen del objetivo del estudio. Por ejemplo, las imágenes satelitales o fotografías aéreas pueden proporcionar información de amplias extensiones a un costo asequible, pero los datos pueden estar limitados en precisión y resolución temporal. Por el contrario, la fotogrametría aérea y el LiDAR pueden ser suficientes para estas últimas limitaciones pero a costos económicos mas elevados (García-López et al. 2018; Casella et al. 2016). Se puede encontrar una comparación basada en el rango, la precisión, la eficiencia y el costo entre diferentes métodos en Song y Liu (2009).

A medida que la tecnología evoluciona, se ponen a disposición de los investigadores y gestores nuevos métodos de seguimiento sin duda ventajosos en comparación con los mencionados anteriormente. Es el caso del uso conjunto de sistemas aéreos no tripulados (UAS) para obtener imágenes de alta resolución espacial y temporal y de algoritmos de Estructura a partir del movimiento (Structure from Motion, SfM) para la generación de productos fotogramétricos de precisión. El enfoque UAS y SfM ofrece una mayor flexibilidad operativa y versatilidad en áreas más amplias; Además, constituye una forma más fácil, más rápida y de menor costo de obtener fotografías cuya información en 2D permite la generación de modelos digitales de elevación (DEM) y ortomosaicos de alta calidad, con un grado considerable de automatización (Westoby et al. 2012). Como prueba de su idoneidad, muchos estudios en todo el mundo han aplicado ya con éxito metodologías basadas en UAS y SfM en zonas costeras. Las principales aplicaciones se han dedicado a la adquisición de topografía de alta resolución de la costa (Mancini et al. 2013; Scarelli et al. 2016) y dunas (Barbero et

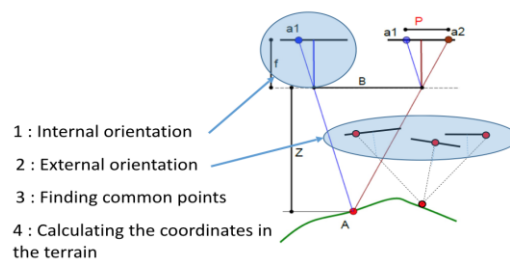
al. 2017), para el desarrollo de planes de monitorización costera (Pérez-Alberti y Trenhaile 2015; Gonçalves y Henriques 2015; Turner et al., 2016; Casella et al. 2016), y detección de cambios costeros (Harwin y Lucieer 2012; Turner et al., 2016; Matsuba et al., 2017). Además, los UAS también se han implementado para propósitos más específicos, como pueden ser el cálculo de los parámetros de marea (Casella et al. 2014), la identificación y clasificación de diferentes zonas costeras (Papakonstantinou et al., 2016), la determinación de la estabilidad de acantilados (Barlow et al. 2017), e incluso la observación de las corrientes de resaca (Benassai et al. 2017).

## 2.- FOTOGRAMETRÍA CON UAV

### 2.1.- Fotogrametría digital

Como se indicó anteriormente, la tecnología drones ha mejorado en gran medida la adquisición de datos de cualquier lugar de interés. La fotogrametría usando drones mediante algoritmos de SfM permite la generación de nubes de puntos 3D detalladas de una escena fotografiada, únicamente a partir de la información bidimensional contenida en las imágenes obtenidas con el de dron.

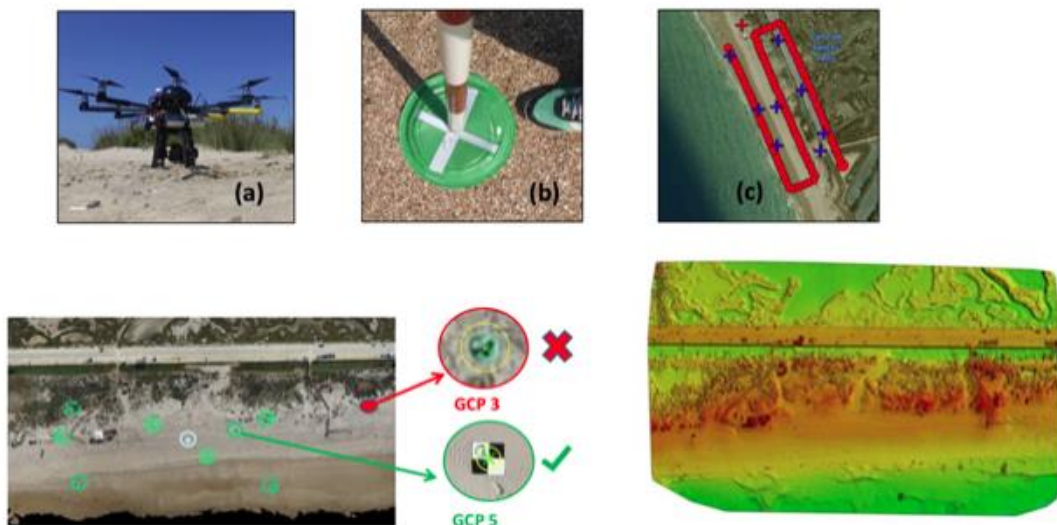
Los algoritmos de SfM analizan el contenido visual de las imágenes en busca de características comunes para que coincidan en todos los conjuntos de datos de imágenes, con la ayuda de algoritmos como el algoritmo de transformación de características invariables de escala (SIFT). Estos puntos coincidentes, junto con la información de los parámetros externos de la cámara (posición y orientación) adquiridos en cada toma se utilizan para reconstruir las diferentes poses de la cámara y la trayectoria seguida por el UAS durante el vuelo, así como para triangular el 3D aproximado coordenadas de estos puntos coincidentes en un sistema de coordenadas arbitrario (James y Robson 2014). Posteriormente, la geometría de la cámara obtenida se calibra y optimiza con la ayuda de los parámetros internos de la cámara grabados en cada imagen (distancia focal, tamaño del sensor y parámetros de distorsión) en un proceso iterativo, que deriva en el cálculo de una nube de puntos 3D poco densa que representa la escena inicialmente fotografiada, pero que luego puede ser refinada y densificada produciendo Modelos Digitales de Superficie (DSM), Modelos Digitales de Terreno (DTM) y / o ortomosaicos (Figura 1).



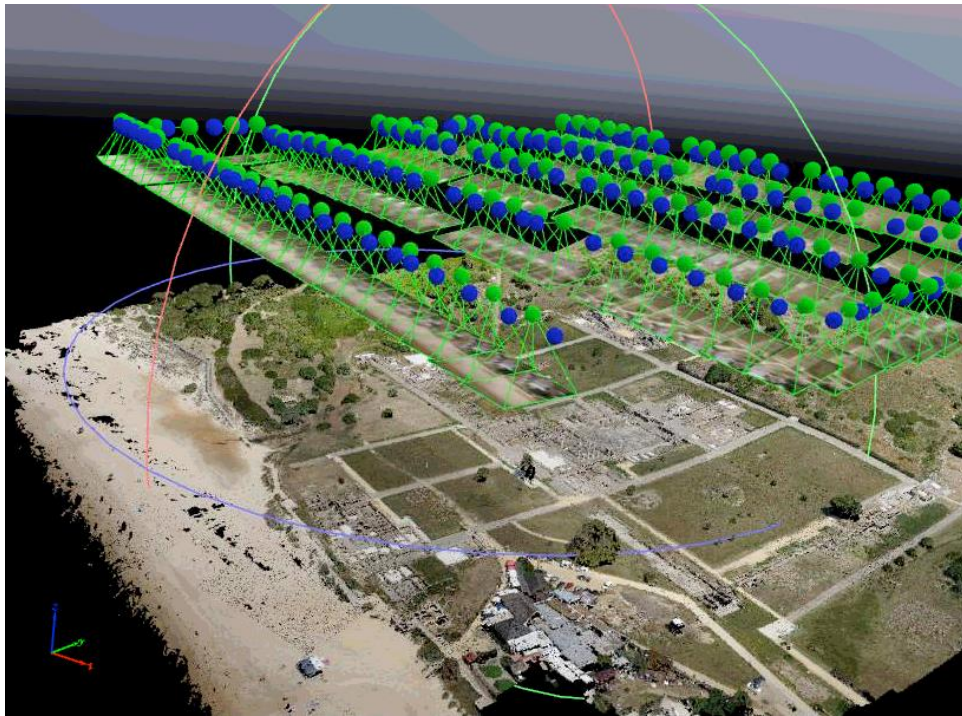
**Figura 1. Principio general usado en fotogrametría digital desde drones (elaboración propia)**

Sin embargo, la calidad de la nube de puntos depende de la calidad de las imágenes obtenidas, que a su vez depende de la selección correcta de una serie de parámetros que deben seleccionarse cuidadosamente a priori durante la planificación del vuelo. Como se puede deducir, esto último es crucial para el éxito de cualquier proyecto fotogramétrico. Por un lado, la altitud de vuelo y la distancia focal de la cámara influyen en el tamaño de los píxeles en las imágenes resultantes, que determinan la precisión horizontal y vertical de los modelos 3D finales. En cualquier distancia focal fija determinada, el tamaño de píxel aumenta proporcionalmente con la altura de vuelo. Por otro lado, las imágenes adquiridas deben mantener un adecuado nivel de superposición frontal y lateral de tal manera que cada punto sea visible y coincida con la mayor cantidad posible de imágenes circundantes, por lo que la calibración de la cámara y la triangulación posterior serán más precisas; y finalmente se obtiene la reconstrucción de nubes de puntos 3D de mayor calidad y modelos derivados (Figura 2).

Además de la cámara y los parámetros de vuelo, la distribución uniforme de los puntos de control en tierra (GCP) sobre el área a estudiar es altamente deseable para posicionar, orientar y escalar las nubes de puntos y los modelos en un sistema de coordenadas deseado, si es que el equipo no está dotado de un sistema de GPS RTK o PPK como veremos más adelante.



**Figura 2.- (a) Multirrotor con sensor RGB preparado para tomar imágenes en un sector costero. (b) Posicionamiento de puntos de control en tierra (GCP); (c) Patrón de vuelo y posición de las fotografías tomadas; (d) Ajuste de los GPC durante el proceso de elaboración de los productos fotogramétricos; (e) Modelo digital obtenido mediante procesado con software Pix4D (elaboración propia).**



**Figura 3. Ejemplo de un procesamiento fotogramétrico con situación de las imágenes y y la nube de puntos 3D generada y coloreada con las imágenes RGB.**

Como se puede deducir de lo anterior, la fotogrametría basada en el uso conjunto de algoritmos SfM con imágenes obtenidas con drones reduce los tiempos y costos de adquisición de datos topográficos y aumenta la calidad de los resultados. Además, este enfoque es capaz de llegar a sitios inaccesibles o peligrosos, es un método casi no intrusivo que previene daños, y también permite el archivo de los modelos en caso de posible destrucción futura de estructuras costeras, acantilados, etc.

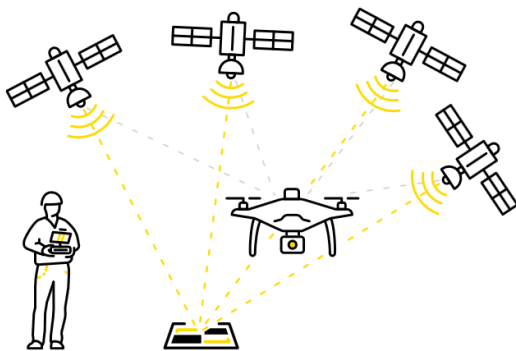
## *2.2.- Fotogrametría digital sin apoyo en tierra*

Como acabamos de mencionar, la correcta y precisa georreferenciación de los productos obtenidos mediante fotogrametría digital usando imágenes de drones y algoritmos de SfM depende en gran medida del correcto y altamente preciso posicionamiento de los puntos de apoyo en tierra (GCP). Esto provoca que, si se quieren realizar estudios a una escala kilométrica de sectores costero, el esfuerzo de situación y georreferenciación de los GCP resulte completamente desproporcionado haciendo incluso inviable el estudio. Para ello se puede recurrir al uso de GPS con corrección cinemática en tiempo real (RTK, Real Time Kinematics) o mediante post-procesado de los datos de GPS (PPK, Post Processing Kinematics).

El sistema de corrección cinemática en tiempo real (RTK) en un dron registra la información del GPS y geoetiqueta las imágenes que se capturan durante el vuelo. La ubicación del GPS se registra para el centro de la imagen. Una estación base activa en tierra envía datos brutos del GPS al dron. Posteriormente, el GPS a bordo del dron combina esa información y sus propias observaciones para determinar con precisión su posición con respecto a la base. Pero para lograr esto, el dron RTK debe permanecer conectado a la estación base mientras recopila datos. Desafortunadamente, durante los giros o en otras circunstancias, probablemente debido cambios bruscos en la

orientación de la antena la señal puede perderse. Cuando esto sucede, mientras intenta volver a bloquear, los datos de geolocalización no son fiables.

Para solventar estos problemas de la georreferenciación precisa mediante GPS-RTK se puede recurrir a procedimientos de post procesado mediante tecnología GPS-PPK. La diferencia con respecto a los sistemas RTK es la forma de procesar los datos de la estación base para su corrección y precisión. Con los sistemas PPK, el dron geotiquetará las coordenadas X, Y, Z a cada imagen en función de esa unidad GPS incorporada. Mientras esto sucede, una base también registra información sobre las posiciones, pero con una triangulación mucho más precisa (Figura 4). Una vez finalizado el vuelo, esos dos conjuntos de datos GPS se combinan con la marca de tiempo de la foto. Luego, se corrigen los datos GPS iniciales, poco precisos, lo que proporciona coordenadas geográficas muy precisas para las imágenes. Si bien las tecnologías RTK "en tiempo real" son apropiadas en algunas situaciones, los datos de vuelo posteriores al procesamiento utilizando un flujo de trabajo PPK brindan una capa adicional de fiabilidad a la obtención de datos de geolocalización de alta precisión.



**Figura 4.- Esquema representado el uso del GPS-RTK en donde se pueden observar las comunicaciones entre el dron y la constelación de satélites y entre los satélites y la estación de tierra posicionada con precisión.**

### *2.3.- Fotogrametría digital mediante georreferenciación directa (DG)*

Existen más recientemente otras tecnologías como la denominada georreferenciación directa (DG) que presentan una serie de ventajas sobre las tecnologías RTK o PPK. La georreferenciación directa (DG) y las soluciones PPK son dos técnicas de georreferenciación distintas. Para la fotogrametría con drones en general y la de áreas de morfología lineal, como puede ser el caso de las costas, la DG es más eficiente.

La DG, como su nombre lo indica, es la capacidad de geolocalizar directamente los datos del sensor desde el aire hasta el suelo con respecto a un sistema de coordenadas de referencia. La DG en su núcleo combina GNSS y tecnología inercial para producir una solución robusta de posición y orientación lo que tiene ventajas naturales sobre los sistemas que usan PPK, que son soluciones de solo posicionamiento. La DG es un precursor para la georreferenciación en sistemas LiDAR y sensores hiperespectrales. que precisan de sistemas inerciales de alta calidad para poder producir los datos. Dado que PPK solo proporciona la mitad de la solución, no se puede usar junto con LiDAR o sensores hiperespectrales.

En segundo lugar, la fotogrametría eficiente requiere el uso de la tecnología DG ya que PPK solo proporciona la posición del centro de fase de la antena que debe traducirse al origen del sensor. Si el sensor se instala en un soporte estabilizado, que ahora se ha convertido en la norma, los desfases dinámicos entre la antena GNSS y el origen del sensor deben modelarse como parte de la solución fotogramétrica. En el caso de DG, la solución GNSS del centro de fase de la antena se traduce con precisión al origen del sensor. Además, si el sensor está montado en un soporte estabilizado, la DG permite medir correctamente la posición y orientación del sensor.

La DG permite que las operaciones de vuelo y la logística sean más eficientes. Con una solución PPK, las líneas de vuelo deben planificarse y volar con un alto grado de superposición (es decir, líneas de vuelo adyacentes muy separadas). Por lo general, una solución PPK requiere una superposición del 80% entre las líneas de vuelo adyacentes. Con la DG, las líneas de vuelo pueden volar a una vuelta lateral del 40%. Por lo tanto, la DG puede cubrir el doble del área en comparación con PPK.

Considerando el procesamiento de datos, la DG es mucho más eficiente que los sistemas PPK ya que hay una cantidad significativamente menor de imágenes para procesar. Además, PPK se basa en la coincidencia de puntos homólogos con una alta densidad como parte del proceso fotogramétrico lo que tiene sus propias limitaciones. La identificación de puntos homólogos con una alta densidad demanda lógicamente mucho tiempo de cálculo en el ordenador. Incluso con sistemas informáticos de alto rendimiento y algoritmos y software de reconocimiento de patrones de última generación, la identificación de un número muy elevado de puntos homólogos sigue siendo un cuello de botella en la cadena de procesamiento de datos fotogramétricos. Además, hay algunos casos en los que PPK no puede entregar una solución cartográfica adecuada. Esto generalmente ocurre en escenarios con bajo contenido visual como puedan ser las dunas (Barbero et al., 2017), copas de árboles, tierras de cultivo y cuerpos de agua. La DG, por otro lado, no depende de la identificación de una elevada cantidad de puntos homólogos y puede funcionar solo con unos pocos puntos por cada par de imágenes, lo que permite que los productos fotogramétricos se obtengan a una velocidad más rápida e independientemente del contenido de la escena, incluso cuando los algoritmos de coincidencia de puntos convencionales fallan.

Para aplicaciones fotogramétricas en respuesta a desastres o procesos muy dinámicos como los que ocurren en las cosas y en los que pueden requerir tiempos de respuesta más rápidos, la tecnología mediante DG puede producir resultados en casi en tiempo real. Esto solo es posible ya que DG no se basa en una obtención de alta densidad de puntos homólogos para estimar los parámetros de orientación para cada imagen.

De esta forma, los drones ahora se puede emplear actualmente para realizar mapas de regiones de forma lineal de manera muy eficiente y con la mayor precisión posible, gracias al uso de la DG. Dado que la posición y orientación de cada imagen está fácilmente disponible, se pueden volar dos líneas (con una vuelta lateral mínima) e incluso corredores de una sola tira, reduciendo así la adquisición de datos y, sobre todo, los tiempos de procesamiento computacional.

### 3.- TIPOLOGÍA DE DRONES AÉREOS

Los principales aspectos que distinguen a los distintos tipos de dron son fundamentalmente el propósito operativo del vehículo, los materiales utilizados en su fabricación y la complejidad y costo del sistema de control. Los drones varían ampliamente en tamaño y configuración. Por esta razón, a menudo es útil clasificar los drones en función de las capacidades que tiene para realizar una misión (Hassanallan & Abdelkelf, 2017). Como se indica en la Fig. 4, los drones pueden considerarse HTOL (aterrizaje de despegue horizontal), VTOL (aterrizaje de despegue vertical), híbrido modelo (ala basculante, rotor basculante, cuerpo basculante y ventilador canalizado), helicóptero, heliwing, y tipos no convencionales. En la Fig. 3, re recogen diferentes tipos de vehículos aéreos no tripulados (Hassanallan & Abdelkelf, 2017).

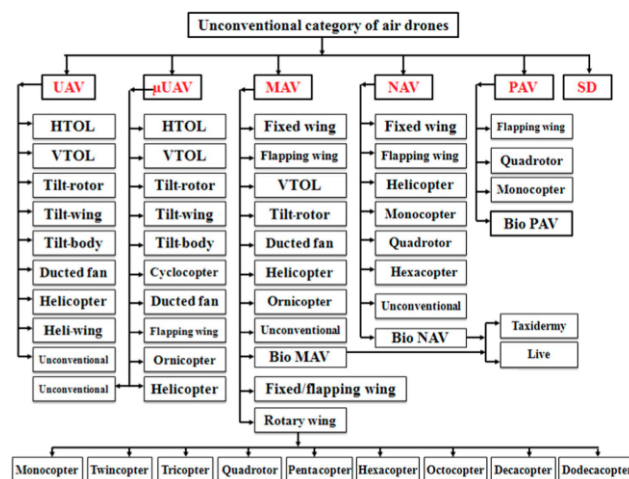


Figura 5.- Tipología de drones según (Hassanallan & Abdelkelf, 2017).

#### **4.- SISTEMAS DE PROPULSIÓN**

Todas las configuraciones de drones presentadas necesitan generar movimiento. Por lo tanto, hay diferentes formas de hacer volar un dron. Los sistemas de propulsión de los drones difieren según sus formas y sus modos de vuelo. Para algunos tipos de drones, como los de ala fija, el sistema de propulsión suele ser similar al de los aviones convencionales. Por lo tanto, estos drones no necesitan un sistema de propulsión único. Por otro lado, algunos tipos de drones requieren nuevas tecnologías y necesitan nuevos diseños y conceptos. En los sistemas de propulsión, la potencia y la densidad de energía son los dos factores más importantes. El sistema de propulsión para un dron es proporcional al peso, tamaño, misión, resistencia, etc. El sistema seleccionado debe proporcionar ahorro de combustible (gas o batería), bajo peso, tamaño pequeño y alta confiabilidad. En general, para todo tipo de drones, los sistemas de propulsión (motores, combustibles y actuadores) típicamente constituyen el 40-60% de su peso de despegue. Para los drones de ala fija, inclinable y giratoria, existen diferentes tipos de sistemas de propulsión que pueden utilizarse, incluidos motores de combustible (gas, motor de explosión, motor a reacción, motor de turbina de gas, motor Wankel, motor inyectado, etc.) y motores eléctricos (con y sin escobillas). Entre los motores de combustible, los motores de turbina de gas son superiores a otros motores alternativos debido a su mayor relación potencia / peso (3-6 veces más que motores de pistón) y confiabilidad. Estas turbinas de gas también pueden funcionar durante mucho tiempo en comparación con los motores de pistón de explosión. Sin embargo, debido al alto costo y la falta de disponibilidad de pequeños motores de turbina de gas de alto rendimiento, los motores en los UAV actuales suelen ser de otro tipo. Para drones ligeros, se pueden considerar cuatro opciones de propulsión: baterías, pilas de combustible, microdiésel y micro turbinas de gas. Los últimos tres tipos suelen tener el mismo consumo de combustible por unidad de potencia, pero entre ellos los motores de micro turbina de gas son los más pequeños y ligeros. En cualquier caso, la forma más común y fácil de volar es utilizar motores eléctricos que son altamente fiables, muy eficientes y con una capacidad de control. Los dos tipos de motores eléctricos que se utilizan en drones son con y sin escobillas aunque dado que estos últimos son más pequeños y ligeros que los primeros, se consideran mucho más apropiados. Además del pequeño tamaño y bajo peso, otra ventaja de motores sin escobillas es la falta de pérdidas de hierro que se reflejan en una mayor eficiencia. Son el sistema de propulsión más adecuado para los drones de ala giratoria y fija porque se utiliza más de la mitad de la energía eléctrica para generar elevación.

#### **5.- SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA**

Los drones con motor de explosión suelen usar combustibles fósiles varios, como gasolina, metano o incluso hidrógeno. Sin embargo, en aviones no tripulados

pequeños, se utilizan motores eléctricos alimentados por baterías que proporcionan la potencia requerida. Más del 90% de estos drones utilizan baterías de polímero de Litio (Li-PO) ya que son la mejor opción de energía debido a su bajo peso. Los combustibles fósiles pueden producir más energía que las baterías, pero los motores de combustión interna disponibles para usar en estos drones tienen una eficiencia extremadamente baja, y el uso de combustible puede causar problemas de estabilidad para los micro vehículos aéreos aparte de vibraciones que, para determinadas aplicaciones como puedan ser el uso de un LiDAR, son inaceptables. Uno de los problemas que pueden tener los drones alimentados con baterías es que no pueden volar mucho más allá de 30 minutos. Sin embargo, la micro pila de combustible está actualmente en desarrollo y esta tecnología que aún no se utiliza en drones de pequeño tamaño, puede en un futuro dar tiempos de vuelo mucho más altos.

## 6.- SENSORES ABORDO

Sin duda, la parte más importante de un sistema de vehículo aéreo no tripulado es el sensor o sensores que se lleve a bordo en función del tipo de trabajo y de resultados que se quiere obtener. El dron no será más que la plataforma más adecuada posible para transportar dicho sensor y hacerlo operativo para la misión específica. Por tanto, si la elección de la plataforma es importante en función del tipo de trabajo que se pretende realizar, mucho más lo es la elección del sensor que va a proporcionar los datos (Figura 6).



**Figura 6.- Distintos tipos de sensores embarcados en drones. De izquierda a derecha y arriba abajo: Sensor RGB, pantalla de control de sensor térmico; Sensor**

**multiespectral de cuatro bandas y RGB; Sensor multiespectral de seis bandas; sensores térmicos (elaboración propia).**

Los sensores se pueden clasificar de muchas formas. Distinguiremos en primer lugar los sensores pasivos de los activos. Los primeros se limitan a recoger la radiación reflejada por los objetos que observa mientras que los segundos emiten una señal y recogen datos de la interacción de la misma con los objetos. Un ejemplo de estos últimos podría ser lo que se denomina un LiDAR (acrónimo inglés de Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging). Es un dispositivo que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. Esto nos permite construir una nube de puntos en tiempo real o casi real.

Los detectores pasivos los podemos encontrar de varios tipos: sensores químicos, sensores de radiación electromagnética, sensores de sonido, sensores de calor, y magnéticos. Para las aplicaciones de dinámica costera de interés en el proyecto KTTSeadrones, son los sensores de radiación electromagnética en los que nos vamos a centrar.

Una ventaja importante de la teledetección es que es posible obtener información de cualquier parte de la superficie de la Tierra analizando el contenido espectral de las imágenes. En la teledetección desde satélites y aviones es común trabajar con varias bandas de imágenes, cubriendo diferentes partes del espectro electromagnético utilizando equipos de gran rendimiento y calidad de imagen pero con altos costos. Las cámaras multiespectrales e hiperespectrales se pueden utilizar para esos objetivos. Estos dispositivos se basan en instrumentos llamados espectrómetros de imágenes. El desarrollo de estos sensores complejos se basa en la espectroscopia y la imagen remota. Sin embargo, los últimos avances asociados a las tecnologías de drones han permitido el desarrollo de sensores con tamaños y pesos reducidos de tal manera que se puedan utilizar a bordo de estos aviones. Aunque sus rendimientos no son tan altos como los utilizados en satélites y aviones, la combinación con la alta resolución espacial de los drones compensa esa desventaja.

Los sensores hiperespectrales sacrifican la resolución espacial a cambio de la resolución espectral y pueden proporcionar una medida de respuesta espectral en cientos de bandas espectrales estrechamente definidas simultáneamente. Los avances recientes en la miniaturización del sensor, junto con las bajas alturas típicas a las que vuelan los drones, conducen a resultados hiperespectrales con resoluciones de suelo de 0.2 m o incluso menores (Uto et al, 2013.). El uso de drones permite la recopilación generalizada de datos de imágenes hiperespectrales. Dichos estudios pueden proporcionar información detallada sobre la salud de la vegetación y también pueden usarse como base para cartografía especies de vegetación, (Hruska et al., 2012), lo que

en investigación costera sobre estabilización de dunas con vegetación o cartografía de especies invasoras puede ser muy interesante.

Hasta hace poco, la baja capacidad de carga útil de los drones y el costo de los dispositivos de imágenes miniaturizadas de alta calidad obligaban a los usuarios a utilizar cámaras de consumo, típicamente diseñadas para registrar solo la reflectancia espectral en el rango visible (Lebourgeois et al., 2008). Pero en los últimos años, y gracias a los importantes desarrollos llevados a cabo con los nuevos sensores multiespectrales, estos se pueden usar a bordo del dron. Debido a los tamaños más pequeños, sus rendimientos son limitados y tienen resoluciones más bajas que las cámaras RGB. Estos sensores multiespectrales tienen múltiples bandas y pueden tener rangos espectrales ajustables. Muchos autores han considerado el uso de estos sensores para muchos estudios diferentes: salud de los cultivos, variables fenológicas de las plantas, contenido de agua de las plantas, etc. (Kelsey y Lucieer, 2012; Turner et al., 2011 y Berni et al. 2009). En este sentido, se pueden producir varios índices de vegetación utilizando diferentes longitudes de onda de estos sensores. El NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizado) es un índice bien conocido relacionado con la presencia de vegetación verde viva. Usando el infrarrojo cercano y las longitudes de onda rojas, es posible obtener mapas que muestran diferentes estados vegetativos de las plantas en un cultivo.

La importancia de utilizar imágenes multiespectrales e hiperespectrales se basa en la posibilidad de resaltar las diferencias en terrenos, suelos y superficies de drones gracias a su alta resolución espacial. En ese sentido, el uso de estas tecnologías puede ser útil en un estudios costeros debido al hecho de que es posible establecer diferencias en las plantas, o incluso en los estados vegetativos de la planta en un cultivo que crece en estos sitios. En ese caso, las plantas pueden exhibir comportamientos diferentes de las plantas más distantes debido a la presencia de diferentes materiales en la zona de la raíz. Las plantas reaccionan a la presencia de estos materiales y eso puede ser suficiente para modificar la respuesta espectral de las hojas.

La termografía es un campo especialmente adecuado para los drones. Las cámaras térmicas forman imágenes de la radiación infrarroja. Tradicionalmente, los dispositivos de imagen térmica requerían sistemas de enfriamiento grandes y costosos. Pero los nuevos desarrollos de sensores térmicos que utilizan nuevos materiales y diseños pueden funcionar a temperatura ambiente. Estos tienden a ser considerablemente más pequeños y menos costosos que los sensores de imagen térmica termoestabilizados tradicionales, lo que hace que se incluyan como parte de una carga útil UAS junto con una cámara normal. Sin embargo, a pesar de estos avances tecnológicos, las cámaras termográficas siguen siendo relativamente caras, y esto ha limitado su aplicación hasta la fecha. Las cámaras térmicas pueden funcionar midiendo cambios de temperatura (cámaras más baratas) o temperaturas absolutas

(información radiométrica completa, cámaras más caras). En este último, es posible proporcionar toda la información digital para crear ortomosaicos, modelos de nubes de puntos, etc.

Las imágenes térmicas se ha utilizado ampliamente en muchas áreas del conocimiento: biología, ingeniería, medio ambiente, etc. Un uso importante hoy en día es en la agricultura de precisión: medir la temperatura de las plantas y su relación con el estrés hídrico (Berni et al., 2009). En los cuerpos de agua superficiales, podría desempeñar un papel importante en pesquerías, en el descubrimiento de derrames ilegales, etc, ya que probablemente tendrían temperaturas diferentes a las de las aguas receptoras.

La combinación de sensores multispectrales y térmicos muestra un potencial importante en las aplicaciones de UAS para la arqueología gracias a su alta resolución espacial, rentabilidad y disponibilidad.

## 7.- REFERENCIAS

Almeida, L. P., G. Masselink, P. Russel, M. Davidson, R. McCall, and T. Poate. 2014. "Swash Zone Morphodynamics of Coarse-Grained Beaches during Energetic Wave Conditions." Paper presented at the International Conference on Coastal Engineering, at Seoul, South Korea, June 15– 20. doi: 10.9753/icce.v34.currents.35.

Amaroli, C., P. Ciavola, L. Perini, L. Calabrese, S. Lorito, A. Valentini, and M. Masina. 2012. "Critical Storms Thresholds for Significant Morphological Changes and Damage along the Emilia- Romagna Coastline, Italy." *Geomorphology* 143: 34–51. doi:10.1016/j.geomorph.2011.09.006.

Barbero, L., S. García-López, J. A. López-Ramírez, and J. J. Muñoz. 2017. "RPAS as A New Tool for the Study of Sand Dunes in Coastal Environments: A Case Study in the South Atlantic Area of Spain." Paper presented at the 5th International Conference on Small Aerial Systems for Environmental Research, Vila Real, Portugal, June 28–30.

Berni, J., Zarco-Tejada, P.J., Suarez, L., and Fereres, E. 2009. Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 47(3): 722–738. doi: 10.1109/TGRS.2008.2010457

Barlow, J., J. Gilham, and I. Ibarra Cofrã. 2017. "Kinematic Analysis of Sea Cliff Stability Using UAV Photogrammetry." *International Journal of Remote Sensing* 38: 2464–2479. doi:10.1080/01431161.2016.1275061.

Benassai, G., P. Aucelli, G. Budillon, M. De Stefano, D. Di Luccio, G. Di Paola, R. Montella, L. Mucerino, M. Sica, and M. Pennetta. 2017. "Rip Current Evidence by Hydrodynamic Simulations, Bathymetric Surveys and UAV Observation." *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17: 1493–1503. doi:10.5194/nhess-2017-53.

Casella, E., A. Rovere, A. Pedroncini, C. P. Stark, M. Casella, M. Ferrari, and M. Firpo. 2016. "Drones as Tools for Monitoring Beach Topography Changes in the Ligurian Sea (NW Mediterranean)." *Geo-Marine Letters* 36 (2): 151–163. doi:10.1007/s00367-016-0435-.

Davis Jr, R. A., and D. M. Fitzgerald. 2004. *Beaches and Coasts*. Oxford: Wiley-Blackwell.

Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, et al., 361–409. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Durán, R., J. Guillen, A. Ruiz, J. A. Jiménez, and E. Sagristà. 2016. "Morphological Changes, Beach Inundation and Overwash Caused by an Extreme Storm on a Low-Lying Embayed Beach Bounded by a Dune System (NW Mediterranean)." *Geomorphology* 274: 129–142. doi:10.1016/j.geomorph.2016.09.012.

Eppelbaum, L.V., 2009. Near-surface temperature survey: An independent tool for buried archaeological targets delineation. *Journal of Cultural Heritage*, 12, Suppl.1, 93-103.

Fisher, J. S., and M. F. Overton. 1994. "Interpretation of Shoreline Position from Aerial Photographs." *Coastal Engineering Proceedings Special Issue* 24: 1998–2003.

García-López, S., Ruiz-Ortiz, V., Barbero, L. y Sánchez-Bellón, A. 2018. Contribution of the UAS to the determination of the water budget in a coastal wetland: a case study in the natural park of the Bay of Cádiz (SW Spain), *European Journal of Remote Sensing*, 51, 1, 965–977, <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1522602>.

Gonçalves, J. A., and R. Henriques. 2015. "UAV Photogrammetry for Topographic Monitoring of Coastal Areas." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 104: 101–111. doi:10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009.

Harwin, S., and A. Lucieer. 2012. "Assesing the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Produced via Multi-View Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery." *Remote Sensing* 4 (6): 1573–1599. doi:10.3390/rs4061573.

Hassanalian, M. & Abdelekefi, A. 2017. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Science*, 91, 99-131.

Hoffmeister, D., N. Tilly, C. Curdt, H. Aasen, K. Ntageretzis, H. Hadler, T. Willershäuser, A. Vött, and G. Bareth. 2012. "Terrestrial Laser Scanning for Coastal Geomorphologic Research in Western Greece." *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B5. Paper presented at the XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia, August 25–September 1 2012. doi:10.5194/isprsarchives-XXXIX-B5-511-2012

Hruska, R., Mitchell, J., Anderson, M., and Glenn, N.F. 2012. Radiometric and geometric analysis of hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle. *Remote Sens.* 4(9): 2736–2752. doi: 10.3390/rs4092736

James, M. R., and S. Robson. 2014. "Mitigating Systematic Error in Topographic Models Derived from UAV and Ground-Based Image Networks." *Earth Surface Processes and Landforms* 39 (10): 1413–1420. doi:10.1002/esp.3609.

Kelcey, J., and Lucieer, A. 2012. Sensor correction of a 6-band multispectral imaging sensor for UAV remote sensing. *Remote Sens.* 4(5): 1462–1493. doi: 10.3390/rs4051462

Klemas, V. 2009. "The Role of Remote Sensing in Predicting and Determining Coastal Storm Impacts." *Journal of Coastal Research* 25 (6): 1264–1275. doi:10.2112/08-1146.1.

Lebourgeois, V., Bégué, A., Labbé, S., Mallavan, B., Prévot, L., and Roux, B. 2008. Can commercial digital cameras be used as multispectral sensors? A crop monitoring test. *Sensors.* 8(11): 7300–7322. doi: 10.3390/s8117300.

Mancini, F., M. Dubbini, M. Gatelli, F. Stecchi, S. Fabbri, and G. Gabbianelli. 2013. "Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for High-Resolution Reconstruction of Topography: The Structure from Motion Approach on Coastal Environments." *Remote Sensing* 5 (12): 6880–6898. doi:10.3390/rs5126880.

Mason, D. C., I. J. Davenport, G. J. Robinson, R. A. Flather, and B. S. McCartney. 1995. "Construction of an Inter-Tidal Digital Elevation Model by the 'Water-Line 'Method.'" *Geophysical Research Letters* 22 (23): 3187–3190. doi:10.1029/95GL03168.

Matsuba, Y., S. Sato, and K. Hadano 2017. "Rapid Change in Coastal Morphology Due to Sand- Bypassing Captured by UAV-based Monitoring System." Paper presented at the Coastal Dynamics Conference, Helsingør, Denmark, June 12–16.

Nebel, S. H., A. C. Trembanis, and D. C. Barber. 2012. "Shoreline Analysis and Barrier Island Dynamics: Decadal Scale Patterns from Cedar Island, Virginia." *Journal of Coastal Research* 28 (2): 332–341. doi:10.2112/JCOASTRES-D-10-00144.1.

Papakonstantinou, A., K. Topouzelis, and G. Pavlogeorgatos. 2016. "Coastline Zones Identification and 3D Coastal Mapping Using UAV Spatial Data." *ISPRS International Journal of Geo-Information* 5 (6): 75. doi:10.3390/ijgi5060075.

Pérez-Alberti, A., and A. S. Trenhaile. 2015. "An Initial Evaluation of Drone-Based Monitoring of Boulder Beaches in Galicia, North-Western Spain." *Earth Surface Processes and Landforms* 40: 105–111. doi:10.1002/esp.3654.

Puig, M., L. Del Río, T. A. Plomaritis, and J. Benavente. 2014. "Influence of Storms on Coastal Retreat in SW Spain." *Journal of Coastal Research Special Issue* 70: 193–198. doi:10.2112/SI70-033.1.

Poirier, N., Hautefeuille, F., and Calastrenc, C. 2013. Low altitude thermal survey by means of an automated unmanned aerial vehicle for the detection of archaeological buried structures. *Archaeological Prospection*. 20(4): 303–307. doi: 10.1002/arp.1454.

Sallenger, A. H. 2000. "Storm Impact Scale for Barrier Islands." *Journal of Coastal Research* 16 (3): 890–895.

Sansoni, G.; Trebeschi, M.; Docchio, F. 2018. State-of-The-Art and Applications of 3D Imaging Sensors in Industry, Cultural Heritage, Medicine, and Criminal Investigation. *Sensors* 2009, 9, 568-601.

Scarelli, F. M., L. Cantelli, E. G. Barboza, M. L. C. C. Rosa, and G. Gabbianelli. 2016. "Natural and Anthropogenic Coastal System Comparison Using DSM from a Low Cost UAV Survey (Capão Novo, RS/Brazil)." *Journal of Coastal Research Special Issue* 75: 1232–1236. doi:10.2112/SI75-247.1.

Sekovski, I., F. Stecchi, F. Mancini, and L. Del Río. 2014. "Image Classification Methods Applied to Shoreline Extraction on Very High-Resolution Multispectral Imagery." *International Journal of Remote Sensing* 35 (10): 3556–3578. doi:10.1080/01431161.2014.907939.

Schwarzer, K., M. Diesing, M. Larson, R.-O. Niedermeyer, W. Schumacher, and K. Furmanczyk. 2003. "Coastline Evolution at Different Time Scales – Examples from the Pomeranian Bight, Southern Baltic Sea." *Marine Geology* 194 (1–2): 79–101. doi:10.1016/S0025-3227(02)00700-4.

Short, A. D., ed. 1999. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. New York: John Wiley.

Stive, M. J. F., S. G. J. Aarninkhof, L. Hamm, H. Hanson, M. Larson, K. M. Wijnberg, R. J. Nicholls, and M. Capobianco. 2002. "Variability of Shore and Shoreline Evolution." *Coastal Engineering* 47 (2): 211–235. doi:10.1016/S0378-3839(02)00126-6.

Song, G.-S., and P.-K. Liu. 2009. "Topographical Mapping in Littoral Regions Using the GPS Backpack Tideline Tracing Skill." *International Journal of Remote Sensing* 30 (3): 555–575. doi:10.1080/01431160802199850.

Turner, D., Lucieer, A., and Watson, C. 2011. Development of an unmanned aerial vehicle (UAV) for hyper resolution vineyard mapping based on visible, multispectral, and thermal imagery. *Proceedings of 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Sydney, Australia, 10–15 April 2011.*

Turner, I. L., M. D. Harley, and C. D. Drummond. 2016. "UAVs for Coastal Surveying." *Coastal Engineering* 114: 19–24. doi:10.1016/j.coastaleng.2016.03.011.

Wieneke, F. 1991. "The Use of Remote Sensing in Coastal Research." *GeoJournal* 24 (1): 71–76. doi:10.1007/BF00213058.

Wong, P. P., I. J. Losada, J. P. Gattuso, J. Hinkel, A. Khattabi, K. L. McInnes, Y. Saito, and A. Sallenger. 2014. "Coastal Systems and Low-Lying Areas." In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by C. B. Field, V. R. Barros, D. J.



# Interreg

## España - Portugal



UNIÓN EUROPEA  
UNIÃO EUROPEIA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional  
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional