

**TFG**

---

**USO DE AERONAVES NO TRIPULADAS  
(RPAS) EN LA CONSERVACIÓN  
PREVENTIVA DE BIENES CULTURALES.  
APLICACIONES Y TIPO DE REGISTRO.**

**Presentado por María Serna Prieto  
Tutor: Virginia Santamarina Campos**

**Facultat de Belles Arts de Sant Carles  
Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales  
Curso 2014-2015**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES**

## RESUMEN

La conservación preventiva es una de las acciones prioritarias para la salvaguarda de los bienes culturales, se trata de una metodología de actuación indirecta sobre las obras cuyo objetivo es controlar los factores de riesgo que amenazan las piezas y asegurar su correcta conservación. Actualmente el mundo tecnológico de las aeronaves no tripuladas está a la orden del día y avanza de forma desmesurada en las manos de técnicos e ingenieros. La sociedad solía asociar el uso de aeronaves no tripuladas a temas relacionados con guerras o espionaje, pero se ha demostrado que estos vehículos aéreos son capaces de desempeñar tareas muy prácticas en diferentes campos como la arquitectura, la arqueología, la topografía o la conservación de los bienes culturales como un práctico método de visualización directa de zonas (o terrenos) de difícil acceso u objetos de grandes dimensiones. Los multicopteros se han comenzado a emplear para el registro, diagnóstico, seguimiento y vigilancia, entre otros, de bienes culturales reduciendo al mínimo los costes de personal y accesorios auxiliares.

En este proyecto se pretende dar a conocer este novedoso sistema que se está haciendo hueco en el campo de la conservación mediante el estudio de estos aparatos y de algunas de sus aplicaciones en el campo de la conservación preventiva.

Palabras clave: RPAS, aeronave no tripulada, registro, conservación preventiva, bienes culturales.

## **ABSTRACT**

Preventive conservation is one of the priority actions for the safeguarding of cultural property, it is a methodology of indirect action on the Works whose goal is to control the risk factors that threaten the parts and ensure its proper preservation. Actually, the technological world of the unmanned aircraft is the order of the day and is advancing disproportionately in the hands of engineers and technicians. The society used to associate the use of unmanned aircraft to topics related to wars or espionage, but it has been shown that the seaerial vehicles are capable of very practical tasks in different fields such as architecture, archeology, the topography or the conservation of cultural property as a practical method of direct visualization of difficult to Access areas or objects of large dimensions. The multicopters have begun to employ for the record, diagnosis, monitoring and surveillance, among others, of cultural property while minimizing the costs of staff and auxiliary equipment.

In this Project aims to get people to know this new system that is being hollow in the field of conservation through the study of these devices and some of its applications in the field of preventive conservation.

Key Words: RPAS, unmanned aircraft, registration, preventive conservation, cultural property

# ÍNDICE

1. Introducción
2. Objetivos
3. Metodología
4. La conservación preventiva
5. El uso de aeronaves en la conservación de bienes culturales
  - 5.1 Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)
  - 5.2 Tipos de registro sobre el patrimonio
    - 5.2.1 Registro fotográfico y videográfico
    - 5.2.2 Registro de datos medioambientales
    - 5.2.3 Registro 3D: Fotogrametría
6. Conclusiones
7. Bibliografía
8. Índice de imágenes
9. Anexos

# 1. INTRODUCCIÓN

Estos aparatos aéreos no tripulados han tenido un gran desarrollo en los últimos años, tanto en su tecnología como en su aplicación a diferentes sectores. Esto provoca la importancia del conocimiento de la normativa vigente para su utilización y de los servicios y aplicaciones posibles que pueden tener en un campo tan amplio como es el de los bienes culturales. El uso de estos aparatos está descubriendo un nuevo sector de aplicación que es el del patrimonio; es usado tanto por arqueólogos como por arquitectos, conservadores o incluso historiadores; está demostrando ser una herramienta muy útil para documentar, identificar, analizar y divulgar el patrimonio cultural de una manera rápida y de calidad.

El patrimonio es frágil y finito, y el interés por la salvaguarda de nuestro patrimonio cada vez está más introducido en la sociedad; no obstante, los materiales no son indestructibles y puede llegar un momento en el que desaparezcan, ya sea por razones naturales o intencionadas. Esta nueva tecnología nos aporta diferentes aplicaciones sobre el patrimonio; por medio de la fotogrametría podemos documentar de manera totalmente fidedigna obras completas a escala, con aspectos específicos como medidas o alturas y además con texturas y detalles reales. También tenemos la posibilidad de realizar vuelos para identificar yacimientos arqueológicos, determinar morfologías de asentamientos o incluso realizar seguimientos de las excavaciones e intervenciones llevadas a cabo para planear las jornadas de trabajo. Se pueden llevar a cabo acciones de seguimiento y control de paisajes o zonas protegidas, de yacimientos e incluso de edificaciones y obras de arte de grandes dimensiones mediante el análisis del objeto o la zona de manera reiterada en determinados periodos de tiempo; los resultados de éstos análisis serán de gran utilidad para el planteamiento de planes de protección, conservación e intervención sobre el patrimonio. En el campo de la conservación preventiva, además, facilita la realización de revisiones en zonas específicas de difícil acceso, con herramientas especializadas como las cámaras multiespectrales o los medidores de contaminantes ambientales. Estas revisiones ayudarán a una visión más completa y detallada de obras de grandes dimensiones, mejorarán la prevención de alteraciones y evitarán la degradación del bien cultural.

Por último, esta documentación virtual puede ser muy importante para su posterior explicación y divulgación ante la sociedad. La virtualización del patrimonio acerca a las personas a ciertos lugares o zonas donde no es posible acceder con la posibilidad de exponer detalles y vistas desconocidas de edificaciones, detalles de pinturas murales de bóvedas o de esculturas en lo alto de las iglesias y retablos, la totalidad de una zona natural protegida o la vista aérea de un yacimiento arqueológico.

## 2. OBJETIVOS

Como objetivo principal de este trabajo se plantea:

- Analizar el uso y las aplicaciones de los RPAS en la conservación preventiva

Dentro de este objetivo general se plantean unos secundarios, más específicos, para completar el trabajo de estudio:

- Conocer los distintos tipos de aparatos aéreos adecuados para registros fotográficos y videográficos, y su aplicación en el campo de la conservación.
- Estudiar la técnica de la fotogrametría para el registro 3D del patrimonio cultural.
- Analizar las ventajas e inconvenientes del uso de aparatos aéreos no tripulados en el campo de la conservación preventiva.

## 3. METODOLOGÍA

La metodología empleada en este trabajo, se ha centrado en el estudio de fuentes documentales, mediante la consulta de diferentes textos publicados sobre las aeronaves no tripuladas, en webs de proveedores de equipos y software para aeronaves, productoras de imágenes aéreas, legislación vinculada al sector, registros videográficos, etc., con el fin de determinar el marco teórico de la cuestión.

### PLAN DE TRABAJO

1. Localización de las webs susceptibles de contenido y recopilación de la información de interés consultada en ellos. Principalmente se buscarán:
  - Proveedores de equipos
  - Proveedores de software
  - Productoras de imágenes aéreas
  - Organismos públicos que regulan la actividad: Ministerio de Fomento y Agencia Estatal de Seguridad Aérea.
2. Descarga de documentos, que facilite posteriormente el trabajo a partir de los mismos.
3. Organización del conjunto de documentos recopilados.
4. Análisis e interpretación, que permita la elaboración de conclusiones.

De este modo el plan de trabajo se ha centrado, en la recopilación de documentación vinculada a las especificaciones técnicas de las aeronaves, para comparar sus características técnicas y conocer algunos de los complementos que ofrece el mercado para instalar en las aeronaves. También se ha recurrido a documentos oficiales del Ministerio de Fomento como el Boletín Oficial del Estado para consultar la legislación acerca de estos aparatos, así como también se ha recurrido a la página web de AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea), la entidad responsable directa de la regulación de las aeronaves no tripuladas. También se han consultado planes de registro y conservación preventiva de museos, artículos de revistas y registros videográficos publicados en la web y publicaciones de divulgación sobre el uso y las aplicaciones de las aeronaves no tripuladas en el campo del patrimonio.

Se ha cursado, conjuntamente, un curso sobre la aplicación de los drones (rpas) al ámbito de la conservación y restauración en el Centro de Formación Permanente de la Universidad Politécnica de Valencia; de este modo se ha conocido más específicamente la aplicación de estos aparatos en el campo de la conservación y los modelos más afines a este campo. En este curso se tuvo la posibilidad de practicar el vuelo con una aeronave en espacios aéreos interiores y así se pudo comprobar la dificultad de su manejo, además se ha utilizado la información técnica sobre las aeronaves facilitada en este curso. Por otro lado se han consultado libros relacionados con la conservación preventiva y los métodos de registro e identificación de materiales.

Mediante la visión de registros videográficos online obtenidos de las cámaras de diferentes aeronaves tanto en exteriores como en interiores se ha podido comprobar la calidad de las imágenes y las maniobras que son posibles de realizar para obtener planos específicos. También hay publicaciones sobre estudios fotogramétricos de yacimientos arqueológicos y monumentos en los que se ha podido conocer la metodología empleada para realizar planes de vuelo autónomo y la funcionalidad de la fotogrametría, además de apreciar el resultado final de los modelos 3D obtenidos.

## 4. LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA

Los bienes culturales son el conjunto de bienes que a lo largo de la historia han ido formando parte de la memoria de las diferentes sociedades, antiguas y actuales. Éstos pueden ser materiales o inmateriales. A los bienes materiales se les denomina “patrimonio tangible” y son, por ejemplo, edificios históricos, yacimientos arqueológicos o las colecciones de los museos. Los bienes inmateriales son llamados “patrimonio intangible”, son aquellos que están vivos y se encuentran en cambio permanente, como las costumbres, las tradiciones o incluso el lenguaje (figura 1). Dentro del patrimonio cultural tangible se encuentran los bienes muebles y los bienes inmuebles. Los bienes muebles son aquellos que no se encuentran fijados al suelo o al edificio en que se encuentren y que pueden desplazarse o cambiar su ubicación sin que ello afecte a su naturaleza, como las colecciones de los museos (figura 2). Los bienes inmuebles se basan en estructuras que en sí mismas son un bien cultural, como los yacimientos arqueológicos o los edificios históricos, en los que muchas veces se encuentran instalados museos (figura 3).<sup>1</sup> Somos responsables de la correcta conservación a lo largo del tiempo tanto del patrimonio intangible como del tangible, y para ello se llevan a cabo diferentes acciones de conservación preventiva.



Figura 1. Ejemplo de patrimonio intangible: Baile tradicional de Castilla-La Mancha.



Figura 2. Ejemplo de bien mueble: Colección de escultura romana del Museo Arqueológico Nacional, Madrid.



Figura 3. Ejemplo de bien inmueble: Yacimiento arqueológico Medinat Al-Zahra, Córdoba.

Se puede considerar que la conservación preventiva representa fundamentalmente una estrategia basada en un método de trabajo sistemático que tiene por objetivo evitar o minimizar el deterioro mediante el seguimiento y control de los riesgos de deterioro que afectan o pueden afectar a un bien cultural.<sup>2</sup> Esta actividad no es una novedad si no que ya en el renacimiento se realizaban acciones para la protección de los bienes; entonces comienzan a realizarse de manera progresiva actividades para controlar los riesgos que puedan afectar al patrimonio. Sin embargo, no es hasta 1992 cuando se celebra en París el III Coloquio internacional de ARAAFU (Association des Restaurateurs d'Art et d'Archaeologie de Formation Universitaire) la primera reunión europea sobre conservación preventiva. Aquí se ponen de manifiesto los diferentes problemas de esta disciplina y su necesaria instalación dentro del esquema de la conservación de los bienes culturales.<sup>3</sup>

Por un lado se consideran los tratamientos que tienen por objetivo abordar los efectos del deterioro, actuando con un enfoque curativo directamente sobre los objetos. Dentro de este apartado estaría la “conservación curativa” que se aplicaría a un objeto o colección, y la restauración, aplicada a objetos singulares, y restringida a tratamientos opcionales que tienen por objetivo la recuperación de los valores estéticos. Por

<sup>1</sup> RAMOS, O; SANDOVAL, E; HUEYTLETL, A. *Normas básicas para la conservación preventiva de los bienes culturales en museos*. Pág 6.

<sup>2</sup> IPCE. *Conservación Preventiva*. s/f. Consultado el 16/06/2015  
<<http://ipce.mcu.es/conservacion/preventiva.html>>

<sup>3</sup> GARCIA FERNANDEZ, I. *La conservación preventiva de bienes culturales*. Pág 43.

su parte, la conservación preventiva abordaría las causas del deterioro, con tratamientos preventivos destinados a eliminar o disminuir los riesgos de deterioro.<sup>4</sup>

Factores como la humedad, la iluminación, o la contaminación se han contemplado tradicionalmente como causantes del deterioro de las obras de arte, tratándolos de diferente manera con el paso de los años, así, el enfoque de este control ha variado a lo largo del tiempo. Mediante diferentes análisis y estudios se determina que existen otros riesgos al margen de las condiciones ambientales que soportan los objetos y colecciones; el ataque de plagas, los planes de actuación ante catástrofes naturales como incendios o inundaciones, todo lo relacionado con la seguridad como los robos o el vandalismo, la propia manipulación de las obras, su embalaje y exposición, etc. Estos factores se podrían haber tomado en cuenta con anterioridad, pero no se establecieron dentro del trabajo de la conservación de los objetos, cosa que en la actualidad ha cambiado. Actualmente el diseño de un plan de conservación preventiva requiere de diversos conocimientos técnicos y la participación de diferentes profesionales, a menudo con escasas nociones respecto a la conservación, para el correcto desarrollo de actividades de inspección, seguimiento, control y mantenimiento de las instalaciones. Se ha abandonado la tradicional concepción del restaurador que trabaja aislado en el taller del museo, ahora es imprescindible un trabajo con un equipo multidisciplinar que coordine las diversas actividades y tareas decisivas para el correcto control de los riesgos de deterioro de las colecciones.<sup>5</sup>

En definitiva, actualmente la conservación preventiva se basa en evitar desde el inicio los daños que puedan sufrir los bienes culturales por descuido o ignorancia. Se logra a través de tres pasos fundamentales, el primero de ellos sería la determinación de los factores y agentes de deterioro, en segundo lugar la medición de las condiciones ambientales donde se encuentra el bien cultural o la colección mediante aparatos específicos, y por último el establecimiento de planes y diseño de métodos y dispositivos que permitan el seguimiento y control de los riesgos de deterioro de los objetos, incorporando todas las actividades del museo. Por otro lado, la actividad de registro de las obras es una parte importante de la conservación preventiva ya que mediante el inventariado y documentación de los bienes culturales se consigue su salvaguarda, su gestión y su valoración de manera adecuada. El registro de bienes culturales debe responder a tres cuestiones: qué tenemos, dónde lo tenemos y cómo lo tenemos. Ésta acción incluye fotografías y fichas sobre aspectos técnicos, en muchas ocasiones estos registros revelan la historia desde la creación del objeto, su contexto y naturaleza, además deben tener un apartado específico sobre conservación preventiva donde se registran de manera puntual aspectos como la humedad, la temperatura, la iluminación y el

---

<sup>4</sup>HERRÁEZ, J; RODRÍGUEZ, M. *La conservación preventiva en las obras de arte*. Pág 3

<sup>5</sup>Ibíd. Pág 5

resto de condiciones ambientales que rodean a las obras. De esta forma se consigue una documentación de las condiciones en las que se encuentra la obra y se facilita su control, diagnóstico y conservación.<sup>6</sup> La nueva tecnología como los ordenadores, las cámaras digitales, la conexión a internet, y, novedosamente las aeronaves controladas por control remoto, entre otros elementos, se han incorporado a las actividades habituales de conservación y esto hace que la actividad de registro y control de los bienes culturales sea más rápida, completa y eficaz.

Las aeronaves no tripuladas son una novedad en la conservación preventiva; este método no está demasiado extendido y no se conoce todavía todo lo que son capaces de ofrecernos en este campo. Sin embargo ya se han realizado registros y han demostrado que son muy eficaces para controlar y registrar bienes culturales de características específicas, es importante contar con un medio que es capaz de filmar y fotografiar desde todos los ángulos del objeto sea cual sea su dimensión, y además, sin la necesidad del montaje de medios auxiliares (figura 4). De este modo los registros son mucho más completos, teniendo la posibilidad de crear modelos 3D a escala del bien cultural. Mediante la incorporación de diferentes elementos al aparato aéreo se pueden conseguir resultados específicos relacionados con los controles preventivos, es posible realizar exámenes de superficie con diferentes espectros electromagnéticos, tomar muestras de la calidad del aire o medir los niveles de temperatura y humedad en lugares en los que los técnicos responsables de este tipo de controles no podrían acceder. Los valores ambientales y el tipo de iluminación que rodea a las obras pueden variar según la altura y la localización; mediante estos aparatos las mediciones son más concretas y específicas. Así se consiguen exámenes mucho más precisos y por lo tanto un seguimiento más seguro para este tipo de bienes.



Figura 4. Aeronave volando en el interior de la catedral de Canterbury, Inglaterra.

<sup>6</sup>NAGEL VEGA, L. *Manual de registro y documentación de bienes culturales*. Pág. 8.

## 5. EL USO DE AERONAVES EN LA CONSERVACIÓN DE BIENES CULTURALES.

### 5.1 REMOTELY PILOTED AIRCRAFT SYSTEMS (RPAS)

En los últimos años se ha establecido la palabra *dron* para denominar de forma general a los vehículos aéreos no tripulados, esta definición no es del todo cierta ya que todas estas aeronaves están pilotadas, solo que el piloto está en tierra. En un corto periodo de tiempo ha aparecido en este campo un nuevo concepto que comienza a generalizarse, el de los RPAS, *Remotely Piloted Aircraft Systems*, aviones controlados de forma remota. Estas naves se manejan por medio de controles remotos específicos. El uso de RPAS para labores de inteligencia e, incluso, para acciones militares se remonta hacia mediados del siglo XX aunque no ha sido hasta esta década cuando se han hecho mundialmente conocidos, sobre todo por sus aplicaciones civiles.<sup>7</sup> Los drones presentan un enorme potencial para el desarrollo de aplicaciones innovadoras como la realización de videos turísticos o publicitarios de grandes ciudades (figura 5), la seguridad y vigilancia de fincas, la captura de acciones arriesgadas en deportes extremos, el estudio de terreno específico para nuevas construcciones, y, entre otras muchas, el registro y control de bienes culturales de grandes dimensiones o difícil acceso como yacimientos arqueológicos, bóvedas y fachadas.



Figura 5. Imagen aérea desde una aeronave no tripulada de la torre de Pisa, Italia.

Los tipos de aparato dependen de las acciones que vayan a realizar, por lo tanto son muy variados. Se pueden encontrar aparatos de diversas dimensiones y prestaciones, hay aparatos de grandes dimensiones que son más utilizados en vuelos largos y alturas elevadas, y otros de menor dimensión que son más manejables y prácticos para vuelos controlados en zonas interiores. Éstos son los más utilizados en el campo de la conservación de bienes culturales ya que son muy útiles para el registro de detalles y datos en zonas de difícil acceso. Algunos tienen un sistema GPS que les permite volver al punto desde donde inició su vuelo en extensiones al aire libre. Sin embargo, para interiores es necesario el control del aparato, ya que el sistema GPS no es eficiente en lugares cubiertos. La mayoría de las aeronaves se manejan con radio control mediante un mando, con el avance tecnológico de éstos últimos años incluso pueden ser también manejados y programados mediante una tablet o incluso un smartphone.

<sup>7</sup> VERA, J.M. Cuál es la diferencia entre un dron, un UAV y un RPAS. 2013. Consultado el 20/6/2015 <<http://www.onemagazine.es/noticia/14713/industria/cual-es-la-diferencia-entre-un-dron-un-uav-y-un-rpa.html>>



Figura 6. Cuadricóptero modelo Helidroid KB-1000.



Figura 7. Hexacóptero modelo GR Y100.

La clasificación de estos aparatos se puede dividir según el tipo de alas, su sistema de control y su uso. Analizando el tipo de alas podemos establecer dos tipologías, las aeronaves de alas fijas, que son las que disponen de alas fijas similares a las de un avión, y los multirotor. Éstos suelen ser cuadricópteros, es decir, disponen de cuatro rotores con hélices, también los hay que tienen seis hélices, llamados hexacópteros (figuras 6 y 7). Gracias a éstas hélices son capaces de desplazarse por el aire, dos de ellas giran en el sentido de las agujas del reloj y las otras dos en el sentido contrario, creando así la fuerza de empuje necesaria para elevar el aparato. Estos aparatos son los más indicados para realizar fotografías o filmaciones de vídeo ya que se pueden mantener fijos en el aire sin variar su posición gracias a estabilizadores o podemos moverlos y girarlos en la dirección que deseemos por medio de aplicación de giroscopios.

Otra clasificación de los RPAS se establece por el sistema de control del aparato, como se mencionaba anteriormente; se pueden dividir en dos grandes grupos. Por un lado los llamados sistemas de control autónomo, en los que el aparato no necesita de un piloto que lo controle desde tierra si no que se guía mediante sistemas GPS y sensores integrados. El aparato dirige un plan de vuelo concreto establecido con anterioridad, este plan se realiza por medio de diferentes *software* especializados en los que se establecen una serie de puntos por medio de sistemas GPS y se crea una ruta que es la que el aparato seguirá. Estos *software* se pueden adquirir de manera online y además muchos de ellos no requieren de conocimientos avanzados para poder establecer un plan de vuelo, algunos ejemplos de nombres de *software*s que son accesibles para descargar serían FlightsimCommander (figura 8), TOPCAT, VatRoute, FSBuild 2.3 (figura 9) o Active Sky 6.5, entre otros.

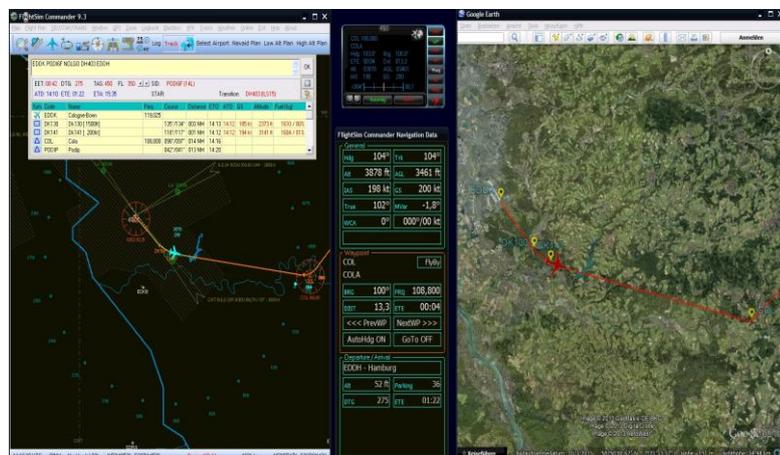


Figura 8. Ejemplo de plan de vuelo establecido mediante FlightsimCommander.

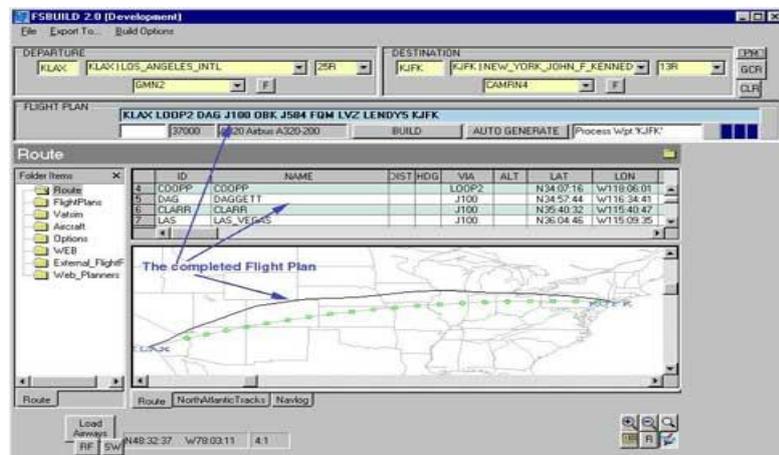


Figura 9. Ejemplo de plan de vuelo establecido mediante FSBuild 2.3.



Figura 10. Unmanned Combat Air Vehicle modelo MQ-9 Reaper.

Por otro lado están las aeronaves con sistemas de control remoto en el que la aeronave es pilotada por un técnico mediante un mando que dirige directamente el aparato, además si la aeronave tiene cámara integrada, el vuelo se puede supervisar mediante un monitor donde es posible visualizar directamente el recorrido que la aeronave realiza. Los RPAS según su uso, se pueden dividir en los destinados a fines militares, que son los llamados UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle), suelen ir armados y son capaces de realizar bombardeos (figura 10). Por otro lado figurarían los “drones civiles” que a su vez pueden ser de uso comercial para realizar trabajos o proyectos de cartografía, fotografía o vídeo, los aparatos que se utilizan con fines lúdicos, tratados como juguetes, o los de uso del gobierno. Éstos pueden ser utilizados por bomberos o la policía con el fin de ayudar en tareas de reconocimiento, rescate, fronteras e incluso fiscales.

A nivel legal, en la Unión Europea hay dos grandes grupos de RPAS, por un lado están los RPAS de peso superior a 150 kg. que se rigen por la normativa de la European Aviation Safety Agency (EASA), y por otro lado están los de peso inferior a 150 kg. los cuales están regulados por las autoridades de aviación civil de cada estado. En España, el 17 de octubre de 2014 se estableció una ley publicada en el BOE como Ley 18/2014 que establece la aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia de éstos aparatos. Este reglamento examina los distintos escenarios en los que se podrán realizar los diferentes trabajos aéreos en función del peso de la aeronave e implanta las obligaciones que deben cumplir los pilotos y las empresas que las utilicen.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Agencia Estatal de Seguridad Aérea. *Nuevo marco regulatorio temporal para las operaciones con drones.*

En función del peso del aparato los clasifica en aeronaves de más de 25 kg, de hasta 25 kg y de menos de 2 kg. Independientemente de su peso hay unos requisitos comunes tanto para los pilotos como para las empresas que las utilicen. Todas las aeronaves civiles pilotadas por control remoto deberán llevar en su estructura una placa de identificación en la que deberá constar de forma legible a simple vista, la identificación del aparato y su número de serie, así como el nombre de la empresa operadora y los datos necesarios para ponerse en contacto con la misma. Además todas las empresas operadoras de aeronaves deben disponer de un manual de operaciones y de un estudio aeronáutico de seguridad para cada operación, la velocidad máxima del viento en el que puede volar, altura, etc. Deben adoptar las medidas adecuadas para garantizar la seguridad del vuelo y la protección de las personas y bienes subyacentes. Todos los pilotos de drones deberán acreditar que son titulares de cualquier licencia de piloto, incluyendo la de piloto de ultraligero, o demostrar de forma fidedigna que disponen de los conocimientos teóricos necesarios para obtenerla. Los vuelos realizados deberán documentarse, estando obligado el ejecutor a conservarlos a disposición de la Agencia Estatal de Seguridad Aérea.<sup>9</sup>

En el caso de vuelos en el exterior, las aeronaves civiles pilotadas por control remoto cuya masa máxima sea inferior a 2 kg, siempre que cuenten con medios para poder conocer la posición de la aeronave, podrán volar en lugares no habitados y en espacio aéreo no controlado más allá del alcance visual del piloto, pero dentro del alcance de la emisión por radio de la estación de control y a una altura de elevación máxima de 400 pies o 120 metros. Las aeronaves que no excedan de 25 kg tienen las mismas restricciones que las inferiores a 2 kg, sin embargo deben estar siempre dentro del alcance visual del piloto, a una distancia de éste no mayor de 500 m. Además estas aeronaves no necesitarán estar inscritas en el Registro de Matrícula de Aeronaves, y tampoco necesitarán el certificado de aeronavegabilidad de AESA, sin embargo, los propietarios sí necesitarán la licencia de piloto. Por último, las aeronaves civiles cuya masa máxima sí supere los 25 kg y no sea superior a 150 kg y aquéllas cuya masa sea igual o superior a 150 kg destinadas a la realización de actividades de lucha contra incendios o búsqueda y salvamento, sólo podrán operar en zonas de vuelo al aire libre con las condiciones y limitaciones establecidas en su certificado de aeronavegabilidad emitido por la Agencia Estatal de Seguridad Aérea, en espacio aéreo no controlado. El no respetar éstos requisitos puede llevar al establecimiento de sanciones, éstas serían proporcionales a los riesgos que se hubieran afrontado.

---

<sup>9</sup>Gobierno de España. *Boletín oficial del estado*. Núm. 252. Sección 6.ª *Aeronaves civiles pilotadas por control remoto*. Sec. I. Pág.83976

Además, en caso de que causen daños a terceros existe incluso la posibilidad de sancionar por vía penal o civil.<sup>10</sup>

La mayoría de acciones relacionadas con la conservación de los bienes culturales se realizan en interiores, los vuelos en recintos completamente cerrados como pabellones industriales o deportivos, domicilios particulares, iglesias, museos, etc, no son dependientes de la jurisdicción de AESA, ya que no forman parte del espacio aéreo. Los responsables de esos recintos son los que deben decidir si autorizan el vuelo de drones en su interior y en qué condiciones. Las aeronaves de bajo peso (de menos de 2 kg y 25 kg), como por ejemplo las aeronaves de la marca Hubsan®, son muy útiles para trabajos de registro de patrimonio, tanto para trabajos en exterior en fachadas o tejados (respetando debidamente los requisitos que impone el ministerio) como para trabajos en interior de determinadas obras de arte de grandes dimensiones o de difícil acceso como retablos, pinturas murales en bóvedas, esculturas en zonas altas, etc.

## **5.2 TIPOS DE REGISTRO SOBRE EL PATRIMONIO**

### ***5.2.1 Registro fotográfico y videográfico***

La documentación de bienes culturales es básicamente una labor de gestión y de control, es una actividad constante para la que se necesitan diferentes procesos de registro. Uno de éstos registros es el registro fotográfico y videográfico, se trata de una técnica no destructiva de registro con el objetivo de plasmar el bien cultural tal y como se encuentra en el momento del registro para controlar su evolución con el paso del tiempo y determinar si está en contacto con algún tipo de factor de riesgo que lo pueda estar deteriorando, y en ese caso, adoptar las medidas de conservación adecuadas. También, con la ayuda de este registro se pueden determinar deterioros en los bienes culturales que a simple vista el ser humano no es capaz de detectar. Hay varios tipos de registros fotográficos dependiendo del espectro electromagnético que la cámara sea capaz de captar, y cada uno de ellos es capaz de revelar diferentes tipos de deterioro o elementos sobre los objetos. La fotografía mediante técnicas especiales en el examen de los objetos patrimoniales es muy útil para el examen de los bienes culturales ya que gracias a ella se pueden descubrir aspectos técnicos como antiguas intervenciones o deterioros recientes causados por unas condiciones desfavorables.

En este campo, el uso de aeronaves se limita, como se menciona con anterioridad, sobre todo a zonas de difícil acceso o de grandes dimensiones,

---

<sup>10</sup>Gobierno de España. *Op. Cit.* Pág. 83977

para ello se utilizarán aparatos aéreos con cámaras integradas o en su defecto con elementos complementarios que permitan el transporte de cámaras. Las cámaras ya integradas en los aparatos no suelen tener una calidad elevada, generalmente de 0.3 hasta 2 megapíxeles, pero sin embargo son muy útiles para fotografías generales desde todas las vistas posibles de la obra, además también gracias al manejo de la aeronave se pueden realizar fotografías de ciertos detalles acercando el aparato a la obra en la zona deseada. El mini drone Hubsan 4X H107C®, es un cuadricóptero de pequeñas dimensiones ya nombrado anteriormente, que no pesa más de medio kilo, además consta de cámara integrada de hasta 2 megapíxeles y dispone de luces led para poder volar con iluminación reducida (figura 11). Este aparato es un buen candidato para la realización de registros generales en espacios cerrados. Otro aparato adecuado para el registro en interiores sería el Quadcopter Syma X5C®, es un modelo más grande que el anterior, y la cámara integrada es de mejor calidad (hasta 200 píxeles); y también consta de cuatro luces led (figura 12). El tiempo de duración de la batería en ambos es de siete minutos aproximadamente.



Figura 11. Mini drone Hubsan 4X H107C®.



Figura 12. Quadcopter Syma X5C®.

En el caso de aeronaves sin cámara integrada se utilizan elementos que permiten adjuntar cámaras, éstos suelen tener estabilizadores para que las imágenes resultantes sean eficientes y la información sea fidedigna. Los aparatos con cámaras independientes tienen un coste más elevado, ya que constan de la aeronave en sí y por otro lado la cámara deseada; un buen ejemplo serían los modelos Phantom®, de la casa DJI. Estos aparatos también son cuadricópteros; su tamaño y peso es variado, depende del modelo de aeronave, pero no son de gran tamaño y no suelen superar el kilo de peso (figura 13). Las cámaras que se añaden suelen ser de la casa GoPro®; estas cámaras son de pequeñas dimensiones y de bajo peso, son fáciles de adjuntar, la misma casa cuenta con una amplia colección de accesorios para colocarlas en cualquier lugar, además la calidad de las imágenes y el vídeo es de hasta 720 megapíxeles, una calidad bastante elevada para las características físicas de la cámara (figura 14).



Figura 13. Cuadricóptero DJI Phantom V1.1.1®.



Figura 14. Cámara GoPro Hero 4®.

Tras realizar un trabajo de comparación de características y aplicaciones mediante fuentes de información online de suministro de este tipo de aparatos, éstos son algunos de los más adecuados para este tipo de acciones de registro del patrimonio.<sup>11</sup>

Aunque todavía es una técnica que se está descubriendo y perfeccionando ya hay muchos registros publicados de bienes patrimoniales, principalmente al exterior, pero poco a poco van apareciendo registros realizados en interior, sobre todo de catedrales e iglesias. Los registros en espacios interiores se realizan con aeronaves sin sistema GPS por lo que resultan más complicados ya que el manejo de la aeronave depende únicamente de la destreza del piloto que lo controla. Es necesario dominar los equipos de registro que se van a utilizar y planificar los tiempos de vuelo, en exterior sin embargo el sistema GPS y el software de planificación de vuelo se encargan del pilotaje de la aeronave. En este tipo de registro se encontrarían las técnicas fotográficas especiales. Éstas técnicas designan el registro de los fenómenos ópticos que producen los materiales al emitirles ciertos tipos específicos de radiación, las más utilizadas y eficientes para el registro y estudio de los bienes culturales son la infrarroja y la ultravioleta.

Una radiación se diferencia de otra dependiendo de su energía, su longitud de onda y su frecuencia, éstas se encuentran relacionadas entre sí.<sup>12</sup> La energía de la radiación es directamente proporcional a la frecuencia, es decir, a mayor energía, mayor frecuencia. La porción visible del espectro irradia entre los 400 y 700 nm (nanómetros), y es la única radiación del espectro que puede ser vista por el ojo humano. La luz infrarroja, por tanto, es invisible al ojo ya que se encuentra más allá de los 730 nm de longitud de onda, hasta cerca de los 400.000 nm. Las radiaciones infrarrojas pueden ser absorbidas, reflejadas o

<sup>11</sup>Anexo I. Características técnicas de los aparatos aéreos no tripulados seleccionados.

<sup>12</sup>La longitud de onda es la distancia que hay entre los dos puntos máximos de onda contiguos y la frecuencia se refiere al número de ondas por segundo que tenga la radiación.

transmitidas por los materiales de manera diferente que las radiaciones visibles, por lo que pueden revelar diferente información de los materiales que la luz visible.<sup>13</sup> Ésta información adicional que nos brindan los materiales puede ser de notable importancia para el restaurador ya que se pueden identificar modificaciones que haya podido sufrir la superficie de la pieza (figura 15).

A las lentes de las cámaras se les pueden añadir filtros específicos que filtran la radiación visible y solamente reflejan la infrarroja. Sin embargo, actualmente la realización de este tipo de fotografías mediante aeronaves se consume acoplado directamente cámaras multispectrales a los aparatos; éstas cámaras son capaces de generar imágenes con distintas longitudes de onda simultáneamente. Para la realización de estudios infrarrojos resultan muy prácticas, ya que la resolución es mayor que con la aplicación de filtros.

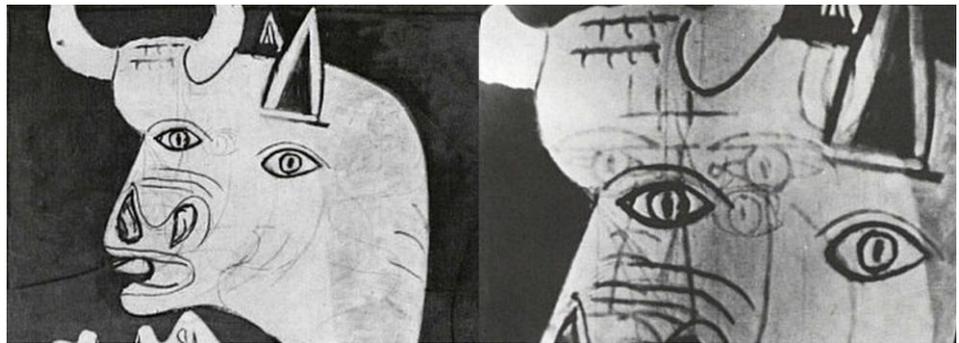


Figura 15. Fotografía con luz visible y con luz infrarroja del Gernika, Pablo Picasso (Madrid).

Por otro lado, la radiación ultravioleta (UV) se establece desde los 10 nm hasta los 400 nm. Algunos materiales son capaces de transformar ésta radiación invisible al ojo humano en visible, cuando un objeto se rocía con radiación UV se produce una fluorescencia específica, diferente según el material sobre el que se está incidiendo. Cuando la radiación es absorbida por el material, los electrones aumentan su energía de forma temporal, a continuación esa energía es liberada devolviendo los electrones a su estado normal. Es esta energía liberada la que se aprecia en el espectro visible.<sup>14</sup> En el campo de la conservación, la presencia de fluorescencias sobre el objeto puede aportar información acerca de sus condiciones de conservación, se puede detectar la suciedad superficial, la presencia de microorganismos, concreciones o pequeños faltantes entre otras alteraciones (figura 16). Cuanto mayor es el envejecimiento de los materiales mayor será la intensidad de la fluorescencia. Al ser esta fluorescencia visible para el ojo humano, también lo

<sup>13</sup>MATTENI, M; MOLES, A. *Ciencia y Restauración. Método de investigación*. Pág. 178

<sup>14</sup>ESPINOSA IPINZA, F; RIVAS POBLETE, V. *Fluorescencia visible inducida por radiación UV. Sus usos en conservación y diagnóstico de colecciones. Una revisión crítica*. En: Revista Conserva Nº 16, Pág 29

es para las cámaras por lo que no es necesario acoplar filtros al objetivo para registrarlas. Sin embargo es necesaria una fuente de luz ultravioleta para apreciar la fluorescencia, en el registro aéreo es posible acoplar lámparas led de luz UV al lado de la cámara que rocían la zona fotografiada con esta luz y muestran las fluorescencias que se producen.



*Figura 16.* Fotografía con luz visible y con luz ultravioleta del Cristo de las Penas Almensilla, (Sevilla).

Es necesario recordar que la exposición de los objetos tanto a la radiación infrarroja como a la ultravioleta es dañina y acumulativa si se abusa de ella, por lo tanto se debe tener cuidado y no excederse del tiempo de exposición necesario para el registro.

### **5.2.2 Registro de datos medioambientales**

La mayoría de las alteraciones que sufren los bienes culturales, sea cual sea su material constituyente, depende de manera directa o indirecta de las condiciones ambientales del espacio donde se encuentra. Como consecuencia, es necesario realizar mediciones medioambientales periódicamente mediante aparatos específicos para poder así actuar a tiempo y evitar que los principales factores de deterioro actúen sobre los bienes culturales. Estos factores se centran en la humedad relativa, la temperatura, la iluminación y los contaminantes ambientales.

La humedad relativa (HR) describe la saturación del aire de vapor de agua y se utiliza básicamente para especificar la cantidad precisa de agua que

un objeto necesita para mantener su forma.<sup>15</sup> Las fluctuaciones de HR afectan sobre todo a materiales orgánicos, que son los que más cantidades de agua contienen en su estructura, por otro lado, los valores de HR tanto en los objetos como en el lugar dónde se encuentran están estrechamente relacionados con la temperatura ambiental, cuando la temperatura sube, los objetos desprenden agua al ambiente haciendo que la humedad ambiental se eleve, por lo tanto se deben establecer unos valores de HR y temperatura adecuados a cada tipo de material dependiendo del agua que contengan en su estructura. Una clasificación respecto a la respuesta de los materiales a la humedad sería el de materiales higroscópicos por un lado, los cuales cambian de tamaño y forma en contacto con la humedad; por ejemplo la madera, el papel o los textiles. Y los no porosos por el otro lado, en este caso la absorción de agua en la estructura del material es de forma superficial, su forma no se ve afectada y son por ejemplo la piedra y la cerámica. Aparte de daños mecánicos por cambio de tamaño y forma en los materiales afectados por la humedad, también existen otros deterioros causados por este factor como la aparición de microorganismos, la corrosión en los metales o las sales en la cerámica o la piedra.

Para medir tanto la humedad como la temperatura disponemos de diferentes aparatos de medición ambiental, antaño estas mediciones se tomaban a mano sobre papel, en la actualidad hay sistemas informáticos de almacenamiento de datos, los cuales son muy útiles y agilizan el trabajo de medición, aunque todavía se utilizan los sistemas de recogida de datos manual. Estos aparatos utilizan diferentes metodologías, por un lado están los aparatos manuales, en los cuales una persona es la responsable de realizar las mediciones de manera periódica, como por ejemplo los termómetros para medir la temperatura o los higrómetros en el caso de la humedad relativa. Y por otro lado están los aparatos que están programados para realizar mediciones varias veces al día que quedan almacenadas y luego son revisadas por los conservadores, como los termohigrómetros electrónicos que constan de un sensor bimetálico para determinar la humedad y una resistencia de platino para medir la temperatura ambiental. Mediante una tarjeta electrónica que tiene en el interior procesa las señales procedentes de los sensores y nos permite la visualización de las mediciones directamente en una pantalla LCD (figura 17).<sup>16</sup> Según el modelo de aparato dispondrá de unas aplicaciones u otras, hay aparatos que disponen de sondas exteriores para precisar la medición en un punto concreto, otros con la posibilidad de elegir las unidades de medida, opción de activar alarmas cuando los valores sobrepasen unos máximos programados con anterioridad, etc. Pero lo más importante es que el aparato cuente con un sistema data logger, este sistema permite al aparato conectarse con un ordenador para volcar los datos que ha ido



Figura 17. Termohigrómetro PC-555®.

<sup>15</sup> GARCIA FERNANDEZ, ISABEL. *La conservación preventiva de bienes culturales*. Pág 123.

<sup>16</sup> GARCIA FERNANDEZ, ISABEL. *Op.cit.* Pág 140

registrando y así poder interpretarlos por medio de gráficas que ayudan a los conservadores a estudiar los cambios ambientales que ha sufrido ese espacio y a establecer planes de control para que los valores sean lo más constantes posibles.

Otro factor de deterioro que hay que controlar es la iluminación; es un factor difícil de controlar ya que es necesaria para la correcta visibilidad de los objetos expuestos, y no siempre es posible contar con la iluminación adecuada por falta de recursos económicos. Los daños que produce la iluminación son irreversibles como la pérdida del color de los pigmentos o el debilitamiento de la estructura del objeto, sobre todo en lienzos y papeles. Además hay focos de luz que producen calor y por tanto aportan temperatura al objeto que iluminan. Los daños que produce éste factor se añaden a los propios de la iluminación, por lo que es muy importante tener controlado tanto el flujo luminoso como la temperatura que alcanza. Para medir el flujo luminoso se utiliza un aparato llamado luxómetro, es un aparato que permite calcular la cantidad de flujo luminoso de un área determinada. Consiste en un detector que contiene una célula fotoeléctrica con un filtro que produce la misma respuesta espectral que el ojo humano, sin responder a radiaciones ultravioletas e infrarrojas, esta célula está conectada a un medidor que recoge los datos.<sup>17</sup> Según el modelo que se utilice los valores se expresan de forma diferente, actualmente son los luxómetros digitales los más utilizados, quedando sustituidos los analógicos (figura 18). Éstos luxómetros digitales cuentan con data logger para poder almacenar los datos y realizar las gráficas y los estudios pertinentes con posterioridad de manera más efectiva. El manejo y la medición de luz con este aparato no requieren de conocimientos específicos y pueden realizarse también por personal no formado.



Figura 18. Luxómetro digital Mavolux ML 5032C®.

Dentro de la iluminación hay que tener en cuenta las emisiones de radiación ultravioleta e infrarroja, ya que éstas pueden ser muy perjudiciales para los objetos. Para medir estas radiaciones de manera más específica contamos con ultraviólmómetros para las radiaciones ultravioleta y medidores de infrarrojos, este último sobre todo es importante porque las radiaciones infrarrojas pueden desprender calor y afectar directamente a la superficie del objeto.

Por último, el control de los contaminantes ambientales está muy presente hoy en día, ya que es un factor que en la actualidad se ha agravado en exceso. La contaminación de un ambiente viene determinada por el clima, la geografía, las actividades industriales de la zona y la afluencia de vehículos, entre otros. Los contaminantes se definen como cualquier sustancia que altera la composición de la atmósfera, y pueden ser tanto artificiales (emitidos por

<sup>17</sup>GARCIA FERNANDEZ, ISABEL. *Op.cit.* Pág 182

industrias) como naturales (provenientes del terreno).<sup>18</sup> El deterioro que producen afecta a todos los materiales, y puede ser de tipo químico, físico e incluso biológico, además es un proceso acumulativo, es decir, su acción se prolonga y aumenta con el tiempo. Los contaminantes están presentes en la atmósfera en forma gaseosa, en forma de partículas (líquidas o sólidas) y existen, por último, los contaminantes vivos. Dentro de los contaminantes gaseosos destacan los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno provenientes de procesos industriales, el ácido sulfhídrico y el amoníaco se forman por la descomposición de compuestos orgánicos y el ozono que se forma como consecuencia de reacciones fotoquímicas del oxígeno, entre otros.

Entre los contaminantes en forma de partículas, los más importantes son los polvos inorgánicos como las sales solubles e insolubles, que mediante los procesos de cristalización pueden disgregar la superficie del material donde se encuentren, por su parte, las partículas de carbón y metales presentes en el aire pueden realizar daños mecánicos por medio de la erosión o los ácidos grasos y otros compuestos orgánicos.

Por último, los llamados contaminantes vivos se refieren a pólenes, insectos o microorganismos, éstos se desplazan por el aire y pueden quedarse en la superficie de los objetos, defecando o poniendo huevos en el caso de insectos o germinando en los poros del material en el caso de pólenes o microorganismos; además pueden segregarse compuestos ácidos de su metabolismo llegando incluso a disgregar el material base.<sup>19</sup>

Para evitar ambientes contaminantes en el interior de instituciones se cuenta con sistemas de aire acondicionado con filtros específicos para frenar el paso de compuestos dañinos al interior de museos o salas de exposición, pero en piezas exteriores o situadas en iglesias o instituciones no museísticas no es común contar con ese tipo de prevenciones. En situaciones como éstas es necesario estudiar la localización de la obra y los factores que aporten contaminación al ambiente para poder intuir el tipo de contaminantes que habrá en el ambiente. Los métodos de análisis de calidad del aire pueden ser continuos por medio de la toma de muestras de forma continua a lo largo del año o por muestreos periódicos basados en planes preestablecidos, por ejemplo por estaciones o muestreos mensuales o incluso semanales. No existe ningún aparato único que pueda medir todos los contaminantes del aire porque cada contaminante es diferente. Se trata de tomar muestras del aire que rodea la obra mediante un soporte de muestreo, que puede ser un filtro para material particulado o una solución absorbente en el caso de los compuestos gaseosos.<sup>20</sup> Las muestras se llevan posteriormente a un laboratorio para poder determinar los compuestos que se han recogido.

---

<sup>18</sup>MATTENI, M; MOLES, A. *Op.Cit.* Pág. 273

<sup>19</sup>MATTENI, M; MOLES, A. *Op.Cit.* Pág. 277

<sup>20</sup>PORTA, A.A; et al. 6.6.c. *Métodos analíticos para el muestreo y la determinación de contaminantes en aire.* En: Manual Nacional para Inspectores Ambientales. Pág 134



Figura 19. Ejemplo de gimbal modelo 3 Axis Gimbal® con cámara GoPro®.



Figura 20. Ejemplo de gimbal modelo MobiPro® con cámara Lumix®.

Estos controles se llevan a cabo periódicamente para comparar los resultados y realizar gráficas sobre los cambios ambientales, así se podrá estudiar el ambiente en el que se encuentran los objetos y se podrá evitar, si el ambiente no es el adecuado, su futura degradación. Hay que mencionar que actualmente disponemos de aparatos que son capaces de realizar mediciones de humedad relativa, temperatura, iluminación y vibraciones de sonido tan sólo con girar una ruleta o activar diferentes botones. En el campo de los aparatos aéreos no tripulados podemos adjuntar elementos para sustentar los diferentes aparatos de medición y elevarlos para acercarlos más a las obras de difícil acceso y así realizar mediciones más precisas sobre el ambiente que los rodea. Éstos acoples se pueden realizar de diferentes maneras, venden gimbals específicos para varios tipos de drones, los gimbals generalmente permiten adjuntar una cámara y estabilizar mediante un sistema de amortiguación la imágenes que capta, sin embargo este sistema también es apto para acoplar nuestros medidores de condiciones ambientales (figura 19 y 20). Por otro lado se pueden acoplar los aparatos medidores con sistemas más específicos como la creación de soportes mediante modelado e impresión 3D, este sistema nos permite crear soportes totalmente personalizados para los diferentes aparatos que se deseen acoplar. También podemos optar por métodos más sencillos como la creación de sistemas de sujeción con bridas o incluso velcros y cintas adhesivas, con la condición de que estos soportes y elementos no afecten a la estabilidad del aparato aéreo en su vuelo. Los aparatos de medición se pueden programar para tomar muestras en pequeños periodos de tiempo y así tomar varias mediciones durante el vuelo para su posterior estudio y representación.

### 5.2.3 Registro 3D: Fotogrametría

Según la Real Academia Española, la fotogrametría es un procedimiento para obtener planos de grandes extensiones de terreno por medio de fotografías, tomadas generalmente desde una aeronave. Más allá de eso, la fotogrametría es la técnica cuyo objetivo es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto<sup>21</sup>. Podríamos definir a la fotogrametría como la ciencia que nos ayuda a obtener medidas reales de objetos a partir de fotografías del mismo, terrestres cuando el eje de la cámara es horizontal y paralelo al terreno o corteza terrestre, y aérea cuando el eje óptico de la cámara es perpendicular al terreno o corteza terrestre, habitualmente

<sup>21</sup>Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento. *¿Qué es la fotogrametría?.s/f*. Consultado el 15/06/2015 <<http://www.ign.es/ign/layoutIn/fotogrametríaQueEs.do>>

tomadas desde un vehículo aéreo.<sup>22</sup> Normalmente se utiliza para la elaboración de mapas topográficos, pero también tiene más aplicaciones como las elevaciones de terreno geográfico y, aplicado al campo de estudio de los bienes culturales, la creación de modelos 3D de instituciones o zonas de interés cultural para realizar estudios morfológicos o para difusión cultural. Además permite la reproducción con una precisión de escala 1/10.000.

La principal particularidad de esta técnica, es que mientras la fotografía sólo informa sobre objetos bidimensionales, de la fotogrametría se puede obtener información tridimensional a partir de imágenes bidimensionales entrelazadas entre sí. Actualmente se utiliza la llamada fotogrametría digital, los ordenadores nos permiten el tratamiento digital de las imágenes, ahorrando tiempo y aumentando la capacidad de procesamiento. Si se toman fotografías de cada lado de un objeto, es decir, rodeándolo desde diferentes perspectivas, se puede realizar un análisis fotogramétrico mediante sistemas informáticos que nos permitirán asociar una serie de puntos de cada fotografía y calcular, mediante fórmulas matemáticas complejas, nubes de puntos para determinar la tipología 3D del objeto, teniendo como resultado archivos equivalentes a los creados en un sistema LIDAR (Light detection and ranging), es decir, el escáner de la superficie por medio de láser (figura 21). Éstas nubes de puntos pueden utilizarse para crear mallas 3D de alta resolución, se conservan los datos de los píxeles a los que se asocia cada punto en coordenadas X, Y y Z, y unos valores RGB que serán los encargados de sustituir la textura original, con ello se componen modelos 3D que incluyen texturas reales de alta calidad (figura 22).

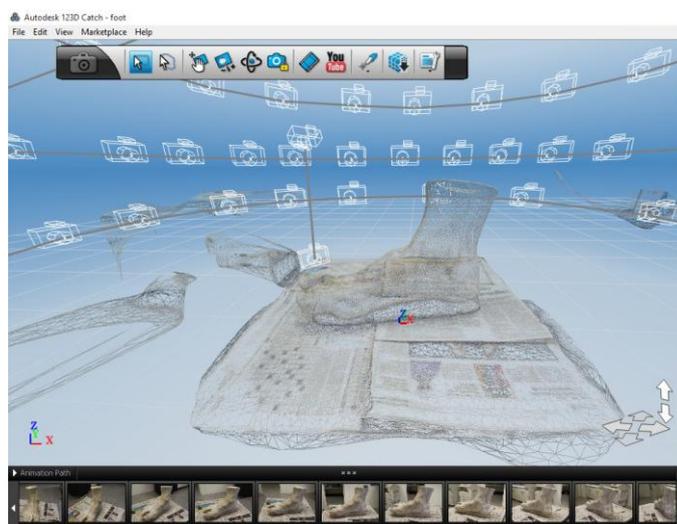


Figura 21. Nube de puntos de una escultura de escayola creada mediante imágenes bidimensionales entrelazadas entre sí. Software Autodesk 123D Catch®.

<sup>22</sup>I.OTERO; A. EZQUERRA; R. RODRÍGUEZ-SOLANO; L. MARTÍN; I. BACHILLER. *Topografía, Cartografía y Geodesia. Fotogrametría y Teledetección: 2. Fotogrametría*. Pág 3.

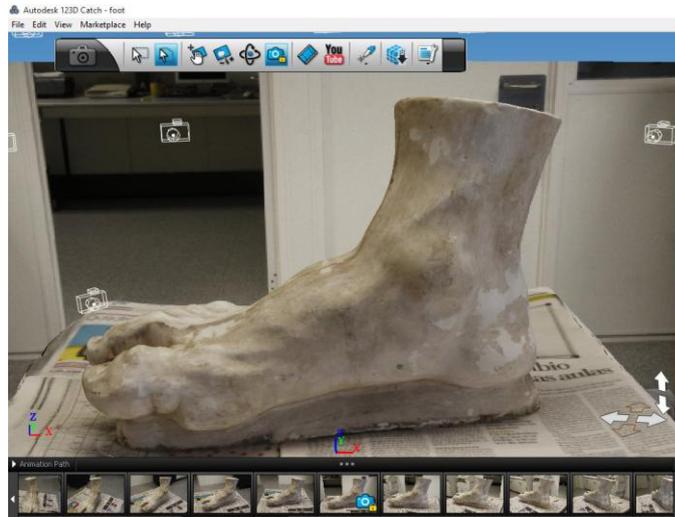


Figura 22. Modelo 3D de una escultura de escayola con su textura original creada mediante fotogrametría. Software Autodesk 123D Catch®.

Como ventajas básicas de la fotogrametría sobre otros sistemas destaca la elaboración de representaciones completas de los objetos, capacidad de registro instantáneo, la utilización de materiales económicos y de fácil manipulación y conservación, posibilidad de tratar objetos en movimiento, el proceso de captura de la información y el posterior de medida no perturba el objeto a estudiar y, por último, los resultados obtenidos con de alto rendimiento.<sup>23</sup> Los trabajos relacionados con la fotogrametría están en apogeo en los campos de la arqueología, arte rupestre, conservación de bienes culturales y, en definitiva, en todas las disciplinas relacionadas con la protección, documentación, digitalización o virtualización del patrimonio (figura 23). Se trata de una herramienta asequible, además destaca la simpleza de su uso, cualquier técnico interesado podría desarrollarla, y puede constituir una fuente de documentación muy importante.<sup>24</sup>



Figura 23. Modelo 3D fotogramétrico de las atarazanas de Valencia. (Pablo Aparicio Resco, 2013)

<sup>23</sup> OTERO. I; EZQUERRA. A; RODRÍGUEZ-SOLANO. R; MARTÍN. L; BACHILLER. I. *Op. Cit.* Pág 2

<sup>24</sup> PEREIRA, J. *Introducción a la Fotogrametría con VisualSFM*. 2012. Consultado el 20/08/2015 <<http://www.jpereira.net/software-revisiones-y-consejos/introduccion-a-la-fotogrametria-parte-1>>

En el estudio de obra de arte, la fotogrametría resulta útil para crear mapas de curvas a nivel, ya que es una técnica de notable precisión y es capaz de revelar pequeños detalles. Realizar estudios fotogramétricos de una misma obra en distintos momentos resulta muy útil en su seguimiento de conservación ya que se puede apreciar pequeñas deformaciones con el paso del tiempo, así como también para comparar el antes y el después de una restauración, cerciorándonos así de que no se han invadido ni modificado la dimensión original de la obra. Existe un estudio fotogramétrico de las placas de bronce dorado de las Puertas del baptisterio de Florencia, obra de Lorenzo Ghiberti, realizado por M. fondelli, L. ippolito, A. gregory y W. Ferri, en el que se estudian los relieves tanto del anverso como del reverso de las placas. Los mapas de relieve resultantes se seccionaron horizontalmente y así se permitió medir los diferentes volúmenes del bajorrelieve<sup>25</sup>. Como ventajas básicas de la fotogrametría sobre otros sistemas de captura de información se puede señalar la obtención de representaciones completas de los objetos, ya que es un sistema basado en la unión de puntos, si se ha realizado un buen trabajo de toma fotográfica los modelos obtenidos estarán enteros y serán inequívocos. Por otro lado, es una técnica económica y de fácil manejo, además la captura de información y el modelado 3D posterior no supone ningún peligro para el objeto que se está estudiando, es un sistema de registro no invasivo que proporciona muy buenos resultados. Con la ayuda de las aeronaves podemos realizar mapas fotogramétricos de objetos situados en las alturas como elementos de fachadas, incluso fachadas completas, tejados, bóvedas, retablos, relieves y todo tipo de bienes culturales situados en zonas de difícil acceso. Además también se pueden reproducir yacimientos o edificaciones y su entorno contando con la vista aérea del lugar, teniendo la posibilidad de reconstruirlos virtualmente.

Recientemente se ha realizado un modelo 3D del Cristo Redentor en Rio de Janeiro (Brasil) mediante esta técnica. La encargada del proyecto fue la empresa Pix4D™ con la colaboración de Aeryon Labs Inc. y la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro. La aeronave utilizada fue Aeryon Scout®, se captaron más de 3.500 imágenes. Se utilizaron 2.090 de esas imágenes y mediante Pix4Dmapper Pro se creó el modelo 3D del Cristo Redentor y sus alrededores en alta resolución. Este modelo consta de una nube con 134,4 millones de puntos y una malla de textura con 2,5 millones de triángulos (figuras 24 - 29).

---

<sup>25</sup>MATTENI, M; MOLES, A. *Op.Cit.*. Pág. 228



Figura 24. Vista aérea de la escultura el Cristo Redentor, en Rio de Janeiro (Brasil).



Figura 25. Aeronave sobrevolando la escultura.

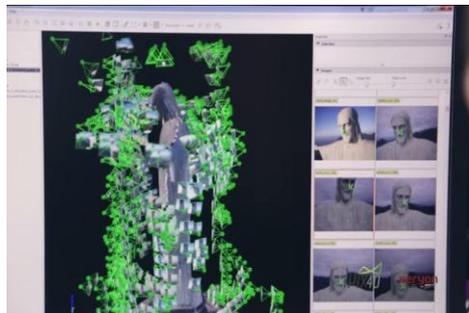


Figura 26. Creación del modelo 3D mediante el entrelazado de imágenes bidimensionales.

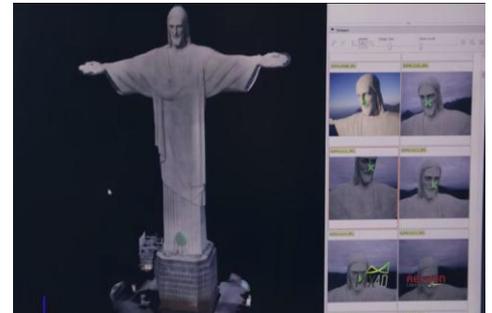


Figura 27. Nube de puntos del modelo 3D de la escultura.



Figura 28. Detalle del modelo 3D con la textura original.



Figura 29. Modelo 3D de la escultura y sus alrededores con la textura original.

Mediante este método se podrán estudiar los bienes culturales en profundidad y realizar seguimientos adecuados de las superficies de los objetos ya que dispondremos de su textura real y por tanto se podrán apreciar degradaciones superficiales del material o del terreno y actuar en consecuencia.

## 6. CONCLUSIONES

El avance de la tecnología ha ayudado mucho en el campo de la conservación y la restauración; los métodos de identificación y registro han ido evolucionando y con ellos los criterios y las preocupaciones de los profesionales que trabajan en este campo. Actualmente, la actividad del registro y del mantenimiento de los bienes culturales ha tomado una gran importancia en los planes de conservación, por lo que los aparatos aéreos no tripulados suponen una ayuda muy práctica para ciertos tipos de bienes. Tras el análisis de los tipos de registro a través de aeronaves no tripuladas sobre los bienes culturales se pueden analizar las ventajas y los inconvenientes sobre el uso de éstos aparatos.

Como inconveniente principal se deben mencionar las limitaciones legales del vuelo de las aeronaves en espacios exteriores; se deben realizar una serie de trámites anteriores al vuelo y contar con un piloto con licencia para realizarlo; además el vuelo sólo está permitido en espacios aéreos controlados y se condiciona el uso de los aparatos en lugares habitados. Estas condiciones pueden dificultar el registro de ciertos monumentos o edificios históricos situados en ciudades. Los vuelos en interiores no precisan de pilotos para realizar las maniobras, sin embargo es preciso que la persona encargada de controlar la aeronave conozca el manejo del aparato y sepa realizar las maniobras precisas sin dañar el objeto que está siendo registrado y sin poner en peligro la estabilidad de la aeronave para evitar accidentes, por lo que tendrá que dedicar algún tiempo a perfeccionar su manejo y control.

Las ventajas son más numerosas. La principal de ellas es la accesibilidad total a estructuras de grandes dimensiones como edificaciones, esculturas o yacimientos arqueológicos; con éste método es posible registrarlos en su totalidad y de todos los puntos de vista posibles. Ésta técnica permite realizar modelos 3D a escala del objeto que deseemos registrar sin importar su localización gracias a software específicos que permiten realizar planes de vuelo determinados y personalizables para cada tipo de objeto o terreno que se desee registrar. Además, los accesorios que se acoplan a la aeronave, como las cámaras fotográficas o los medidores de las condiciones ambientales se pueden configurar para que tomen fotografías o muestras en periodos de tiempo definidos para más tarde revisarlas, esto hace a las aeronaves aparatos más autónomos y ahorra tiempo tanto en las jornadas de registro como en las inspecciones periódicas de conservación preventiva del bien cultural. Como se detallaba con anterioridad, es posible acoplar prácticamente cualquier aparato de registro y medición a las aeronaves, por lo que podemos asegurar que los resultados obtenidos serán de buena calidad y la información será fidedigna. Además de utilizar los datos para fines

científicos también tienen mucho interés cultural: la divulgación de ésta información puede ayudar a la sociedad a acercarse a algunas zonas de bienes culturales que son poco accesibles, de este modo se pueden apreciar y valorar zonas específicas que con anterioridad no eran accesibles al público.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA ESTATAL DE SEGURIDAD AÉREA. *Nuevo marco regulatorio temporal para las operaciones con drones*. Ministerio de fomento, 2014. [consulta 15/06/2015]. Disponible en: [http://www.seguridadaerea.gob.es/media/4242703/marco\\_regulatorio\\_temporal\\_operaciones\\_con\\_drones.pdf](http://www.seguridadaerea.gob.es/media/4242703/marco_regulatorio_temporal_operaciones_con_drones.pdf)
- ÁREA TECNOLOGÍA. *¿Qué es un Dron?* [consultado el 15/08/2015]. Disponible en: <http://www.areatecnologia.com/aparatos-electronicos/drones.html>
- CHEN, L; BETSCHART, S; BLAYLOCK, A. *Projeto Redentor*. White Paper [en línea], 2015. Pix4D, Aeryon Labs Inc., PUC Rio [consulta 09/09/2015]. Disponible en: [https://pix4d.com/wp-content/uploads/2013/04/Projeto\\_Redentor\\_Pix4D\\_AeryonLabs\\_Whitepaper\\_2015.pdf](https://pix4d.com/wp-content/uploads/2013/04/Projeto_Redentor_Pix4D_AeryonLabs_Whitepaper_2015.pdf)
- DOMÍNGUEZ, J. A. *Capítulo 12. Aplicaciones en la gestión del patrimonio y herencia cultural*: [en línea]. En: Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. Comunidad de Madrid. Madrid, 2015 [consulta 02/07/2015]. Disponible en: [http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadervalue1=filename%3DGUIA\\_Los+dronesb.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352873790668&ssbinary=true](http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadervalue1=filename%3DGUIA_Los+dronesb.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352873790668&ssbinary=true)
- ESPINOSAIPINZA, F.; RIVAS POBLETE, V. *Fluorescencia visible inducida por radiación UV. Sus usos en conservación y diagnóstico de colecciones. Una revisión crítica*. En: Revista Conserva. Santiago de Chile: Centro Nacional de Conservación y Restauración, número 16, 2011. Disponible en: [http://www.dibam.cl/dinamicas/DocAdjunto\\_1736.pdf](http://www.dibam.cl/dinamicas/DocAdjunto_1736.pdf)

GARCIA FERNANDEZ, I. *La conservación preventiva de bienes culturales*. Madrid: Alianza Editorial, S.A, 2013. ISBN 978-956-319-583-5.

GOBIERNO DE ESPAÑA..Sección 6.ª *Aeronaves civiles pilotadas por control remoto*. Boletín oficial del estado número 252, 2014 [consulta 09/06/2015]. Disponible en:<http://www.boe.es/boe/dias/2014/10/17/pdfs/BOE-A-2014-10517.pdf>

HERRÁEZ, J.A.; RODRÍGUEZ LORITE, M.A.: *La conservación preventiva en las obras de arte*. Madrid:Editorial Arbor. Conservación del Patrimonio Artístico. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Septiembre 1999, nº CLXIV, 645.

LINA NAGEL, Vega. *Registro y documentación*. En:Manual de registro y documentación de bienes culturales[en línea]. Santiago, Chile: Centro de Documentación de Bienes Patrimoniales, Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos, 2008 [consulta 30/06/2015]. Disponible en: [http://www.aatespanol.cl/taa/publico/ftp/archivo/MANUAL\\_WEB.pdf](http://www.aatespanol.cl/taa/publico/ftp/archivo/MANUAL_WEB.pdf)

MATTENI, M; MOLES, A. *Ciencia y Restauración. Método de investigación*. Traducción de Marina Martínez de Marañón. Hondarribia (Guipúzcoa):Editorial Nerea S.A, 2001. ISBN 84-89569-53-3

MINISTERIO DE FOMENTO. *¿Qué es la fotogrametría?*.Instituto Geográfico Nacional [consulta 15/06/2015]. Disponible en: <http://www.ign.es/ign/layoutIn/fotogrametríaQueEs.do>

MINISTERIO DE FOMENTO. Nota de prensa: *El Consejo de Ministros aprueba un marco regulatorio temporal para las operaciones con drones*. 2014 [consulta 09/06/2015]. Disponible en: <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/ADB1B08B-7E7A-4F1F-937B-E222DE5CAD9/125758/140704NPnormativadronesCM.pdf>

OTERO,I; et al: *Tema 11. Fotogrametría y Teledetección: 2. FOTOGAMETRÍA* [en línea].En:Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría: Topografía, Cartografía y Geodesia. Universidad Politécnica de Madrid [consulta 10/07/2015]. Disponible en: [http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametría/topografía-cartografía-y-geodesia/contenidos/TEMA\\_11\\_FOTOGAMETRÍA\\_Y\\_TELEDETECCION/Fotogrametría/fotogrametría\\_cap\\_libro.pdf](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametría/topografía-cartografía-y-geodesia/contenidos/TEMA_11_FOTOGAMETRÍA_Y_TELEDETECCION/Fotogrametría/fotogrametría_cap_libro.pdf)

PEREIRA, J. *Introducción a la Fotogrametría con VisualSFM*,. 2012 [consultado el 20/08/2015]. Disponible en: <http://www.jpereira.net/software-revisiones-y-consejos/introduccion-a-la-fotogrametría-parte-1>

PORTA, A.A; et al. 6.6.c. *Métodos analíticos para el muestreo y la determinación de contaminantes en aire*. En: Manual Nacional para Inspectores Ambientales. 1ª edición. Buenos Aires: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD; Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2011. ISBN 978-987-1560-29-5. Disponible en: [http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/Ppnud08/file/Manual%20Nacional%20Inspectores%20Ambientales\\_Final\(1\).pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/Ppnud08/file/Manual%20Nacional%20Inspectores%20Ambientales_Final(1).pdf)

RAMOS, O; SANDOVAL, E; HUEYTLETL, A. *Normas básicas para la conservación preventiva de los bienes culturales en museos*. Ciudad de México, México: Consejo nacional para la cultura y las artes (CONACULTA); Instituto nacional de antropología e historia (INAH), 2000.

## 8. ÍNDICE DE IMÁGENES

**Figura 1.** *El Festival de Folklore Manchego llena de pública la Plaza de España*, 2/09/2012. ©Copyright Mancha Información.

<<http://manchainformacion.com/news/6366-El-Festival-de-Folklore-Manchego-llena-de-pblica-la-Plaza-de-Espaa>>

**Figura 2 – 3.** Realizadas por la autora del trabajo. ©Copyright María Serna Prieto.

**Figura 4.** Video *How to fly a drone round an ancient Cathedral*, 4/12/2014.

©Copyright BBC Two. <<http://www.bbc.co.uk/programmes/p02dh4gk>>

**Figura 5.** 5 fotos de ciudades a vista de dron. *Fotografías drones | Pisa*, 8/4/2015. ©Copyright Dron Planet S.L.

<<http://www.dronplanet.com/5-fotos-de-ciudades-a-vista-de-dron/>>

**Figura 6.** *HELIDROID KB-1000*. Drone Shopby Helidroid. ©Copyright Unmanned Systems SAPI de CV. <<http://dev.droneshop.mx/producto/helidroid-kb-1000/>>

**Figura 7.** *MINI DRONE WALKERA QR Y100*. Drone Shopby Helidroid. ©Copyright Unmanned Systems SAPI de CV. <<http://dev.droneshop.mx/producto/qr-y100/>>

**Figura 8.** *FlightSimCommander and Google Earth*. FsCommander picture gallery. <<http://www.fscommander.com/screenshots.htm>>

**Figura 9.** *Plan Mode Tutorial 1*. FSBuild 2.3. <<http://www.fsbuild.com/planm.html>>

**Figura 10.** *MQ-9 Reaper*, 18/8/2010. U.S. Air Force. ©Copyright Lt. Col. Leslie Pratt.

<<http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104470/mq-9-reaper.aspx>>

**Figura 11.** *Hubsan X4 H107C HD Camera mini Quadcopter drone*®,

2015. ReadyQuadcopters. <<http://www.readyquadcopters.com/hubsan-x4-h107c-hd-camera-mini-quadcopter-drone/>>

**Figura 12.** *Quadcopter Syma X5C*®, 2014. ©Copyright Syma Toys Co.Ltd.

<<http://www.symatoys.com/product/show/1901.html>>

**Figura 13.** *Cuadróptero DJI Phantom V1.1.1*®. DroneIntelligent.

<<http://www.droneintelligent.com/phantom-v111-dji--gimbal-zero-phanton-109-p.asp>>

**Figura 14.** *GoPro Hero 4*®. ©Copyright GoPro, Ink.

<<http://es.shop.gopro.com/hero4/hero4-black/CHDHX-401.html>>

**Figura 15.** *Gernika*, Pablo Picasso. *Estudio Técnico del Guernica*, autores: José M.a Cabrera y M.a del Carmen Garrido. Página 154.

**Figura 16.** *Cristo de las Penas Almensilla*, (Sevilla). Catálogo de obras restauradas. Instituto andaluz del patrimonio histórico, Consejería de cultura. Junta de Andalucía. <[http://www.iaph.es/web/canales/conservacion-y-restauracion/catalogo-de-obras-restauradas/contenido/cristo\\_de\\_las\\_penas.almensilla.html](http://www.iaph.es/web/canales/conservacion-y-restauracion/catalogo-de-obras-restauradas/contenido/cristo_de_las_penas.almensilla.html)>

**Figura 17.** *Termohigrómetro PCE-555*®, 2015. ©Copyright PCE Iberica

S.L. <[https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/termohigrometro-pce-instruments-termohigr\\_metro-pce-555-det\\_95144.htm?list=kat&listpos=19](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/termohigrometro-pce-instruments-termohigr_metro-pce-555-det_95144.htm?list=kat&listpos=19)>

**Figura 18.** *Luxómetro Mavolux ML 5032C*®, 2015. ©Copyright PCE Iberica S.L.

<[https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/luxometro-gossen-foto-und-lichtmesstechnik-gmbh-lux\\_metro-mavolux-ml-5032c-det\\_91667.htm?list=qr.art&listpos=19](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/luxometro-gossen-foto-und-lichtmesstechnik-gmbh-lux_metro-mavolux-ml-5032c-det_91667.htm?list=qr.art&listpos=19)>

**Figura 19.3** *Axis-Gimbal*®. ©Copyright 3DRobotics, Inc.

<<http://3drobotics.com/3-axis-gimbal/>>

**Figura 20.** *MobiPro*®. ©Copyright Quaternium™.

<<http://quaternium.es/products/camera-stabilizer/mobipro>>

**Figuras 21 – 22.** Capturas de pantalla del software Autodesk 123D Catch® realizadas por la autora. Modelo fotogramétrico creado y cedido por Stephan Ulrich Kröner.

**Figura 23.** Modelo 3D fotogramétrico de las atarazanas de Valencia, 23/9/2013. Blender, fotogrametría y patrimonio. ©Copyright Pablo Aparicio Resco. <<https://parpatrimonioytecnologia.wordpress.com/2013/09/23/blender-fotogrametria-y-patrimonio/>>

**Figuras 24 -29.** Vídeo Pix4D - Mapping Christ the Redeemer, 2015. ©Copyright Aeryon Labs Inc. / Pix4D. <<https://pix4d.com/mapping-christ/>>

## 9. ANEXOS

### 9.1 ANEXO I

Características	Hubsan X4 H107C	Syma X5C Explorers	ParrotMiniDrone Rolling Spider
Autonomía de la batería	7 minutos	7 minutos	8 minutos
Dimensiones	5.8 x 5.8 x 3 cm	31 x 31 x 8 cm	19.3 x 6.6 x 20.6 cm
Alcance del control remoto	30 metros	50 metros	20 metros
Peso	50 gramos	290 gramos	65 gramos
Velocidad máxima	44 km/h	36 km/h	18 km/h
Altura máxima	90 metros	100 metros	20 metros
Cámara integrada	Sí (640 x 480 píxeles)	Sí (2560 x 1440 píxeles)	Sí (640 x 40580 píxeles)
Compatibilidad con cámara Gopro	No	No	No
GPS	No	No	No
Control mediante smartphone	No	No	Sí (iPhone y Android)

Características	DJI Phantom 2	ParrotBebopSkycontroller
Autonomía de la batería	25 minutos	11 minutos
Dimensiones	37.1 x 33 x 21 cm	33 x 38 x 3.6 cm
Alcance del control remoto	1000 metros	2000 metros
Peso	1000 gramos	410 gramos
Velocidad máxima	36 km/h	16 km/h
Altura máxima	300 metros	150 metros
Cámara integrada	Sí (1920 x 1080 píxeles)	Sí (4096 x 3072 píxeles)
Compatibilidad con cámara Gopro	Sí	No
GPS	Sí	Sí
Control mediante smartphone	No	Sí (iPhone y Android)