

# Fotogrametría de Objeto Cercano: Planificación y desarrollo del proyecto

<b>Apellidos, nombre</b>	Balaguer Puig, Matilde (balaguer@upv.es)
<b>Departamento</b>	Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría
<b>Centro</b>	ETSIGCT

## 1 Resumen

En este artículo se describe la planificación y desarrollo de un proyecto fotogramétrico empleando Fotogrametría de Objeto Cercano. Se describirán las etapas generales: planificación del proyecto en función de los productos y precisiones necesarios, el tipo de objeto y su ubicación, y los medios disponibles; adquisición y procesamiento de las imágenes y datos necesarios.

## 2 Objetivos

Una vez que leas con detenimiento este documento, serás capaz de:

- Definir el proyecto fotogramétrico para el levantamiento de un objeto, estableciendo cuáles son los resultados y productos que se quieren obtener, y las precisiones exigidas.
- Realizar la planificación previa del levantamiento en función de la localización y las condiciones particulares del objeto.
- Seleccionar adecuadamente la cámara y sus características para obtener las imágenes necesarias.
- Adquirir las imágenes del objeto estableciendo los parámetros fotográficos más adecuados.
- Establecer el apoyo geométrico necesario para el trabajo.
- Realizar el proceso de orientación de las imágenes y la reconstrucción 3D del objeto a partir de las imágenes.
- Guardar de forma estructurada toda la información relacionada con el proyecto y los datos.

## 3 Conocimientos previos

Para poder seguir correctamente este módulo son necesarios algunos conocimientos previos de Fotogrametría de Objeto Cercano y de Fotografía digital:

- Conceptos básicos y precisión estimada en Fotogrametría de Objeto Cercano.
- Procedimientos de orientación de imágenes en Fotogrametría.
- Conceptos básicos de Fotografía digital y manejo de cámaras.<sup>1</sup>

## 4 Etapas del proyecto fotogramétrico

La planificación de un proyecto fotogramétrico es un proceso complejo en el que se han de tener en cuenta una amplia gama de cuestiones. En la mayoría de las ocasiones la precisión requerida en la medición en el espacio objeto es el factor crítico en el diseño y configuración del proyecto. Las restricciones impuestas por las condiciones locales, la calibración de la cámara y el coste técnico y económico se han de considerar también para diseñar adecuadamente el proyecto.

La figura 1 muestra el flujo de trabajo para un proyecto de Fotogrametría de Objeto Cercano.

---

<sup>1</sup> En la bibliografía recomendada se incluyen algunos libros básicos sobre fotografía digital.

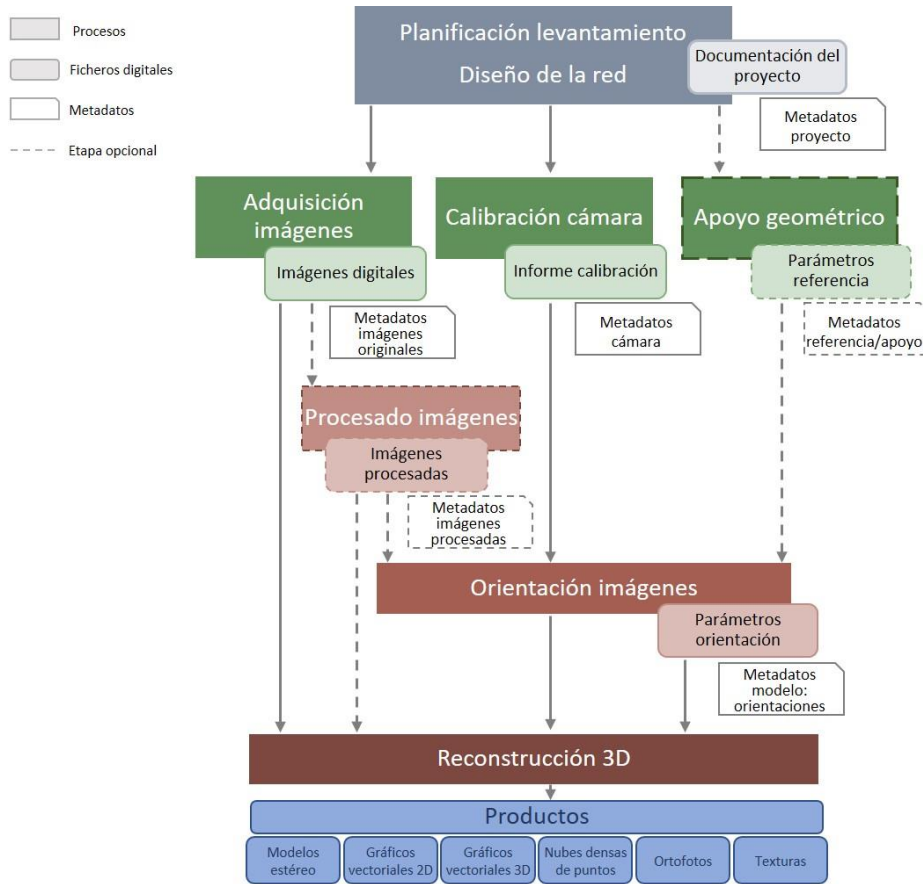


Figura 1 Esquema del flujo de trabajo en Fotogrametría de Objeto Cercano (adaptado de <http://gmv.cast.uark.edu/photogrammetry/four-basic-steps-of-a-close-range-photogrammetry-project-3>)

Basándonos en el esquema anterior, se puede organizar el proyecto en tres etapas (figura 2): planificación, adquisición de datos y procesamiento.



Figura 2 Etapas del proyecto

## 5 Planificación del proyecto

La planificación del proyecto fotogramétrico es un aspecto clave que determinará el posterior resultado. Se han de establecer al principio cuáles son los productos que se quieren obtener y sus precisiones. El

planteamiento puede ser diferente en función de los objetivos; por ejemplo, si se quiere obtener un modelo 3D con textura fotorrealista se necesitará generalmente un mayor número de imágenes, pues para una textura correcta se requieren imágenes de alta calidad radiométrica, con iluminación homogénea, sin sombras, incluyendo quizás una carta calibración de color, ...; si no se ha previsto desde el inicio del proyecto, posiblemente sea necesario adquirir imágenes adicionales.

La figura 3 muestra las etapas habituales y los pasos a seguir en la planificación de un proyecto estándar.



Figura 3 Etapas en la planificación del proyecto.

## 5.1 Definición del proyecto

En la planificación inicial del proyecto se deben especificar los siguientes elementos:

- Número y tipo de objetos que se han de medir, incluyendo su descripción, situación y requerimientos de medición.
- Dimensiones del objeto.
- Exactitud requerida en el espacio objeto (tolerancia, precisión de la medición).
- Elemento más pequeño del objeto a medir (resolución de detalle).
- Condiciones ambientales (variaciones de temperatura, humedad, presión, presencia de vibraciones).
- Opciones para la señalización del objeto.
- Definición e implementación del sistema de coordenadas objeto.
- Determinación de escala y puntos de referencia.
- Métodos de medición alternativos o adicionales.
- Medición online-offline.
- Procedimientos aceptados de comprobación de exactitud.
- Tiempo disponible para el trabajo in situ.
- Plazo para análisis y entrega.
- Resultados producidos (gráficos y numéricos).

## 5.2 Planificación del trabajo

Posteriormente, en la planificación detallada se ha de desarrollar una solución adecuada para alcanzar los objetivos teniendo en cuenta estos elementos, definiendo en especial el sistema de adquisición y la configuración de las imágenes. La elección de los componentes empleados depende, además de las consideraciones técnicas, de la disponibilidad de instrumental y personal.

Se deben definir detalladamente los siguientes criterios:

- Escala media de las imágenes.
- Sistema de procesamiento seleccionado (monoscópico, estereoscópico, multi-imagen).
- Posiciones o estaciones de la cámara (número de imágenes, geometría de intersección de los rayos, diseño de la red).
- Precisión requerida en la medición imagen.
- Sistema de obtención de imágenes seleccionado (cámara, formato de imagen, longitud de focal).
- Parámetros de adquisición de imágenes (resolución, exposición, profundidad de campo).
- Espacio de almacenamiento necesario para las imágenes.

Es muy recomendable la realización de una visita previa a la zona de trabajo, para poder evaluar correctamente las condiciones del entorno, que en ocasiones no se reflejan en la cartografía o información previa de la zona (por ejemplo, presencia de vegetación que impide la visibilidad de parte del objeto), y poder diseñar alternativas a los problemas.

### 5.3 Selección de la cámara

La cámara (o cámaras) que se empleará en el trabajo se elegirá teniendo en cuenta sus características y su adecuación a las condiciones del proyecto establecidas en los pasos anteriores.

En general, es preferible utilizar cámaras réflex de objetivos fijos (es decir, sin zoom), con control manual de todos los parámetros. Sin embargo, se puede utilizar cualquier cámara.

Es importante también determinar los accesorios necesarios para la adquisición de las imágenes:

- Trípode.
- Disparador.
- Iluminación: focos, flashes, ...
- Otros dispositivos: pértigas telescópicas, rótulas, ...

## 6 Adquisición de datos

Una vez establecidos los objetivos y requerimientos del trabajo, y realizada la planificación del levantamiento, la etapa siguiente es la adquisición de las imágenes y de los datos adicionales (figura 4). Es una etapa muy importante: no se pueden obtener resultados buenos a partir de datos iniciales malos.



Figura 4 Etapas de la adquisición de datos.

Los datos necesarios en cualquier proyecto son las imágenes del objeto y los datos de calibración de la cámara o cámaras empleadas. El apoyo geométrico no siempre es necesario, aunque sí es aconsejable al menos conocer alguna distancia para dar escala al proyecto.

## 6.1 Calibración de la cámara

Este proceso es necesario para la obtención de una precisión adecuada, pues nos permite corregir las coordenadas pixel medidas de errores sistemáticos, como distorsión radial y tangencial o desplazamiento del punto principal, y obtener las coordenadas imagen (en el sistema de coordenadas imagen ideal).

Se puede realizar una calibración independiente previa o posterior a la adquisición de las imágenes, generalmente basada en imágenes de un patrón de calibración, o bien realizar una calibración durante el trabajo (*field calibration*), si se dispone de suficientes puntos “buenos” medidos en las imágenes.

Se han de determinar los parámetros de la cámara que definen la orientación interna: distancia principal, punto principal, distorsión radial y tangencial de la lente.

## 6.2 Adquisición de las imágenes

Es un paso fundamental: la calidad de los resultados depende de la calidad de los datos iniciales, en este caso las imágenes. Se ha de intentar conseguir imágenes de resolución y escala adecuada, y sobre todo enfocadas, en las que los puntos del objeto que se han de medir aparezcan nítidos.

Es aconsejable emplear tiempos de exposición cortos y aperturas pequeñas que proporcionen una profundidad de campo suficiente.

La calidad radiométrica de las imágenes es también importante, sobre todo si se quiere obtener resultados con texturas fotográficas. En general, se recomienda asegurar una buena iluminación, emplear ISO baja, y evitar sobreexposición. Una posibilidad que se emplea cada vez más es utilizar las opciones de las cámaras para crear imágenes HDR (*High Dynamic Range*): se toman varias imágenes de la misma escena con exposiciones diferentes, desde subexpuesta a sobreexpuesta, para que cualquier zona del objeto salga correctamente expuesta en alguna de las imágenes, y luego se combinan para formar una sola imagen con un rango dinámico más amplio que las imágenes originales. Estas imágenes HDR se emplean luego para realizar ortofotos o la textura fotográfica del objeto (Ntregka, Georgopoulos, & Santana Quintero, 2013).

Podemos encontrar guías y consejos sobre la adquisición de imágenes para Fotogrametría de Objeto Cercano en libros y artículos de revistas (la figura 5 muestra un ejemplo), además de abundante información sobre fotografía digital en libros y webs.

Al tomar las imágenes se recomienda el formato RAW, pues guarda la imagen tal cual la captura la cámara, sin aplicar ningún procesamiento, y permite posteriores procesamientos de las imágenes; no obstante, hay que tener presente que en este formato una imagen ocupa mucho más espacio de almacenamiento, y que no hay un formato RAW estándar, sino que cada fabricante aplica un formato propio. Además, la mayoría del software fotogramétrico no trabaja con formato RAW directamente, y es necesario convertirlo a otros formatos estándar (JPG, TIF, ...) a través del software propio del fabricante de la cámara.

## 6.3 Adquisición de apoyo geométrico

Como mínimo se requiere dar escala al proyecto, de modo que habrá que medir algunas distancias, lo más largas posible, entre puntos bien definidos que aparezcan en las imágenes (del objeto o de su entorno).

Si se dispone de puntos de apoyo se puede realizar la transformación del sistema de referencia local del proyecto al sistema de referencia de apoyo; habrá que medir los puntos de apoyo en las imágenes, importar sus coordenadas objeto, y realizar el ajuste del bloque fotogramétrico incluyendo los puntos de apoyo.

Es aconsejable establecer puntos de control (de coordenadas precisas conocidas, y obtenidas de manera independiente al ajuste fotogramétrico) para determinar posteriormente la calidad de los resultados, comparando las coordenadas previas de los puntos de control con las coordenadas calculadas a partir de las imágenes.

<p><b>1) Select image scale</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><u>Select desired precision at the object <math>\sigma_z</math></u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Base for the selection of geometry</li> </ul> </li> <li><u>Determine distance to object using approximation formula</u> <math display="block">Z = \sqrt{3fB \frac{\sigma_z}{p}}</math> <p><math>\sigma_z</math> ... precision object space [mm]  <math>f</math> ... focal length [mm]  <math>B</math> ... base line (step size) [mm]  <math>p</math> ... pixel pitch (width) [mm]</p> </li> <li><u>Adapt focal length to conditions if necessary</u></li> </ol>
<p><b>2) Select step size</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><u>Determine maximum step size</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>20% width of the surface in the previous image</li> </ul> </li> <li><u>Consider complex object geometry</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Small baselines for complex surfaces</li> </ul> </li> </ol>
<p><b>3) Acquire one panorama each step</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><u>Each step, one panorama</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Panorama must cover object of interest</li> <li>Panorama can contain multiple images (no overlap required within panorama)</li> </ul> </li> <li><u>Adapt step size</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ensure ~80% overlap to previous panorama</li> <li>Keep step size boundaries</li> <li>Ensure, that potentially occluded parts are visible in at least 3 images</li> </ul> <p>⇒ Smaller step size if necessary</p> </li> <li><u>Acquire at different heights at each station</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Enable different viewing angles on the object</li> <li>E.g. multiple rings for surrounding acquisition</li> </ul> </li> </ol>

Table 3: Summary image acquisition: "One panorama each step"

<p><b>1) Camera and lens</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><u>Select camera</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Large sensor better than small one (SNR)</li> <li>Calibrated camera better than non-calibrated (fixed focal length, no image stabilization)</li> </ul> </li> <li><u>Select lens</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wide angle is better than narrow angle</li> <li>→ small focal length, consider distortion</li> </ul> </li> </ol>
<p><b>2) Camera settings</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><u>Ensure sharpness</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Short exposure time (&lt;1/100s) or tripod</li> <li>Sufficient depth of field by small aperture (large F-Stop, e.g. &gt;4.8)</li> </ul> </li> <li><u>Maximize radiometric quality</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Avoid overexposed areas by using histogram</li> <li>⇒ Slightly underexposed better than overexposed</li> <li>Low ISO (gain) better than high ISO</li> <li>High bit depth better than small depth</li> </ul> </li> </ol>
<p><b>3) Ground control and illumination</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li><u>Provide scale information</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ at least 1 distance measured in at least 3 images</li> <li><u>Optimal solution</u>: homogeneous distribution of ground control points</li> <li>⇒ scale, bundle stabilization and verification</li> </ul> </li> <li><u>Prepare illumination</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ensure, that material is diffusely illuminated</li> <li>Ensure, that sufficient light is available for all parts of the scene according to the radiometry of the camera</li> <li>⇒ Use histogram: no values at left or right border</li> </ul> </li> </ol>

Table 4: Summary general settings

Figura 5 Tabla resumen de pasos y parámetros de adquisición de imágenes para levantamiento fotogramétrico multi-view stereo (Wenzel, K. et al, 2013, *Image acquisition and model selection for multi-view stereo*)

## 7 Procesamiento de los datos

Una vez obtenidos todos los datos necesarios, el siguiente paso será el procesamiento de las imágenes y la reconstrucción 3D. Las etapas habituales se muestran en la figura 6.



Figura 6 Etapas en el procesamiento de datos

## 7.1 Procesado de las imágenes

Se incluyen en este paso todas aquellas operaciones previas necesarias sobre las imágenes, para adecuarlas al formato de fichero y/o resolución requerido por los programas que se van a utilizar o para mejorar la calidad gráfica:

- Cambio de formato para adaptarse al formato requerido por el software: por ejemplo, de RAW a JPG o TIFF.
- Cambios de resolución.
- Ajustes de brillo y contraste.
- Ajustes del balance de blancos.
- Creación de pirámides de imagen, si lo requiere el software.

Se deben preservar las imágenes originales, y crear un nuevo conjunto de imágenes procesadas.

## 7.2 Orientación de las imágenes

La orientación del bloque de imágenes se realizará a partir de puntos homólogos marcados y emparejados en las imágenes. Generalmente la estrategia de orientación de imágenes que aplican los programas fotogramétricos combina procedimientos de orientación relativa de pares de imágenes, a partir de un mínimo número de puntos de paso, resección espacial para orientar una imagen cuando ya se dispone de puntos objeto conocidos, y ajuste de haces de todo el bloque para refinar las orientaciones y transformar las coordenadas al sistema objeto (figura 7).

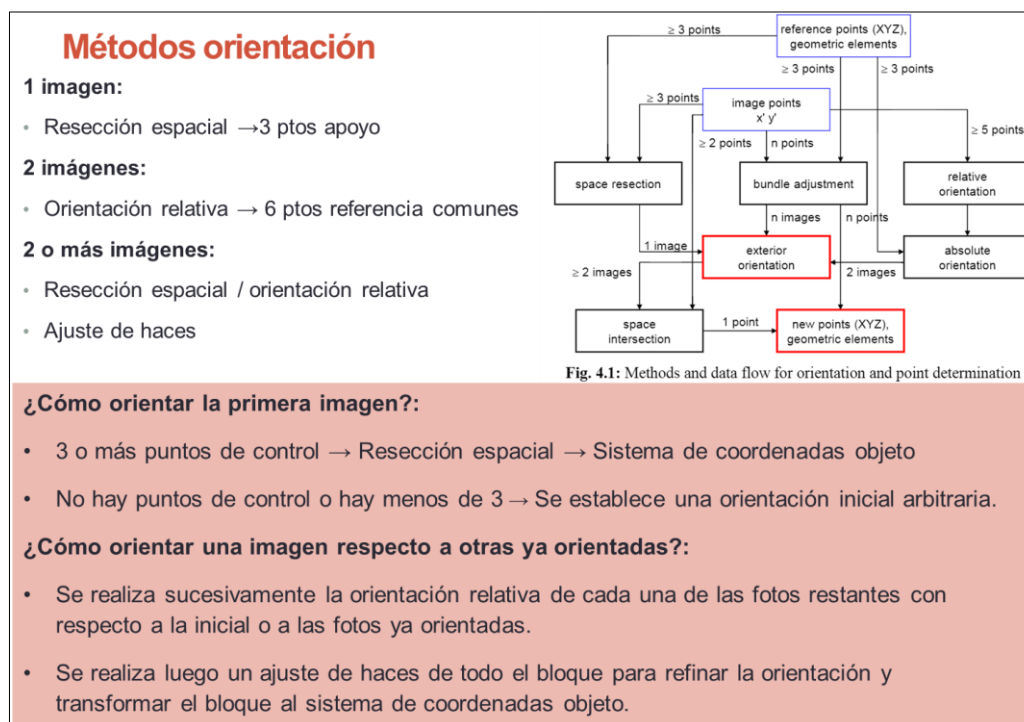


Figura 7 Estrategias de orientación de las imágenes en Fotogrametría de Objeto Cercano (Luhmann et al., 2013)

## 7.3 Reconstrucción 3D

Una vez orientadas correctamente las imágenes, la obtención de coordenadas 3D de los puntos del objeto se realiza midiendo las coordenadas imagen del punto del objeto en un mínimo de dos imágenes en las que aparezca. A partir de los puntos objeto se pueden definir todos los elementos geométricos necesarios para definir la superficie del objeto: rectas, curvas, planos, superficies curvas, ....



Una opción que ofrecen los programas fotogramétricos es la inclusión de “constreñimientos” (*constraints*) o condiciones geométricas, es decir, se definen condiciones que han de cumplir los puntos y elementos objeto seleccionados (por ejemplo, “estos puntos son coplanares”, “estas líneas son paralelas”, ...); las coordenadas objeto de estos elementos se recalculan teniendo en cuenta estas condiciones. Esta es una herramienta que nos puede ayudar en la modelización.

Es importante valorar la precisión obtenida en las coordenadas objeto calculadas, para asegurar que se alcanza el objetivo inicial establecido. Se comparan mediciones sobre el modelo 3D con los valores de referencia previamente conocidos, viendo cuál es la diferencia. Es recomendable disponer de puntos de control, o al menos de una distancia conocida. Una estrategia que se sigue cuando no es factible medir puntos de control es colocar en el entorno del objeto una regla o escala en el momento de tomar las imágenes, que no tape el objeto pero que aparezca en varias imágenes, que servirá luego para comprobación.

## 7.4 Productos

A partir de la reconstrucción 3D del objeto, se pueden generar diversos productos:

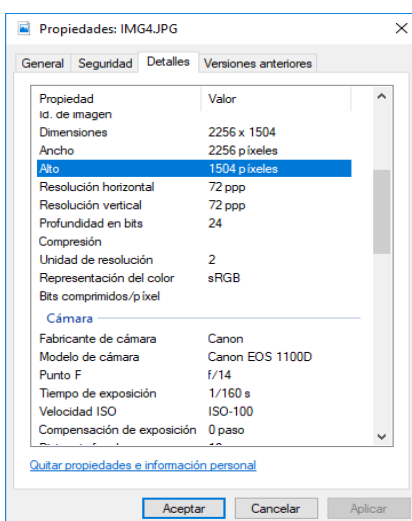
- Ficheros vectoriales 2D y 3D, seleccionando las capas o elementos que se quiere incluir en ellos.
- Nubes de puntos 3D
- Modelos 3D, con y sin textura fotográfica.
- Ortofotos, realizadas proyectando las imágenes sobre distintos planos de referencia o sobre superficies del objeto.

Todos estos productos pueden ser resultados finales, o se pueden emplear como base para posteriores procesos, como animación 3D de los modelos obtenidos, inclusión de los ficheros vectoriales como capas de un sistema CAD, creación de escenarios de realidad virtual, ...

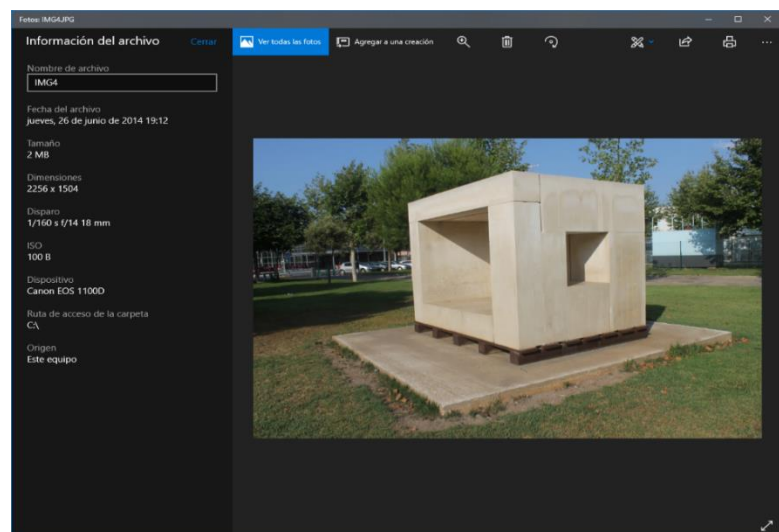
## 8 Metadatos

Un aspecto importante en cualquier proyecto es guardar toda la información sobre los datos, procesos aplicados y resultados obtenidos, lo que llamamos metadatos. Los metadatos son “datos sobre los datos”, es decir, información sobre los datos que nos permite identificarlos y contextualizarlos.

En el caso de las imágenes fotográficas digitales tomadas con cámaras actuales, la información sobre la propia imagen y los parámetros de su adquisición se guardan de forma automática en un formato de metadatos estándar llamado EXIF (*EXchangeable Image File*) incrustado en el fichero de imagen. Estos datos se pueden consultar fácilmente con cualquier visor de fotos (Fig. 8) o con programas específicos.



(a)

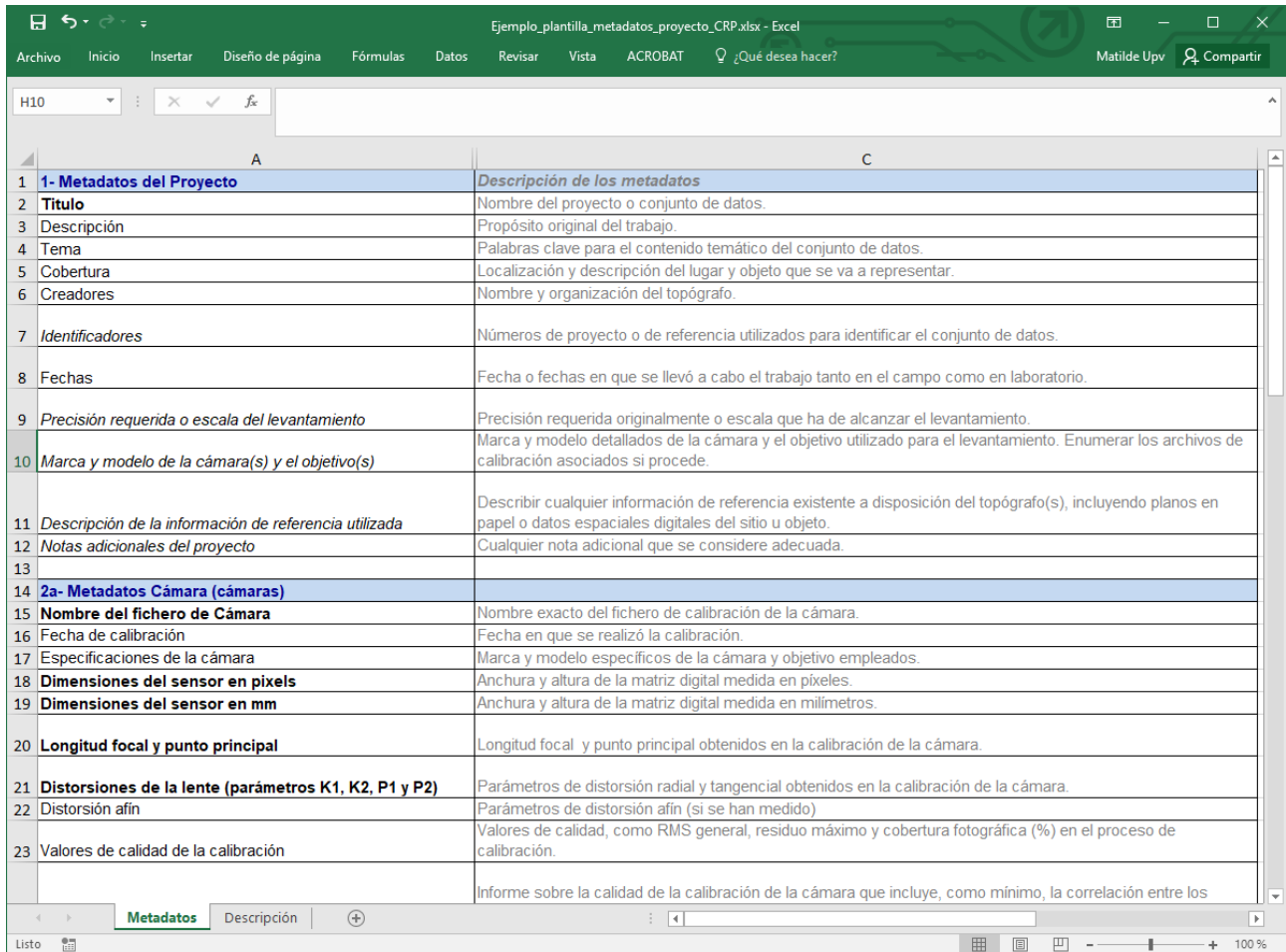


(b)

Figura 8 Consulta de los metadatos (datos EXIF) de una imagen: a) desde *Propiedades* del archivo en Windows; b) desde *Fotos* de Windows.

En el resto de los datos y procesos se requiere también guardar toda la información de parámetros, valores y resultados. Se ha de crear una estructura para estos metadatos, adecuada al proyecto, y guardarlos junto con el resto de los datos y resultados.

Generalmente es suficiente con crear una tabla en una hoja de cálculo, con los campos necesarios para el trabajo particular de que se trate (Fig. 9). Se puede ver algunos ejemplos de ficheros de metadatos en <http://gmv.cast.uark.edu/photogrammetry/convergent-photogrammetry/close-range-photogrammetry-documentation/>.



	A	C
1	<b>1- Metadatos del Proyecto</b>	<b>Descripción de los metadatos</b>
2	<b>Título</b>	Nombre del proyecto o conjunto de datos.
3	Descripción	Propósito original del trabajo.
4	<b>Tema</b>	Palabras clave para el contenido temático del conjunto de datos.
5	<b>Cobertura</b>	Localización y descripción del lugar y objeto que se va a representar.
6	<b>Creadores</b>	Nombre y organización del topógrafo.
7	<b>Identificadores</b>	Números de proyecto o de referencia utilizados para identificar el conjunto de datos.
8	<b>Fechas</b>	Fecha o fechas en que se llevó a cabo el trabajo tanto en el campo como en laboratorio.
9	<b>Precisión requerida o escala del levantamiento</b>	Precisión requerida originalmente o escala que ha de alcanzar el levantamiento.
10	<b>Marca y modelo de la cámara(s) y el objetivo(s)</b>	Marca y modelo detallados de la cámara y el objetivo utilizado para el levantamiento. Enumerar los archivos de calibración asociados si procede.
11	<b>Descripción de la información de referencia utilizada</b>	Describir cualquier información de referencia existente a disposición del topógrafo(s), incluyendo planos en papel o datos espaciales digitales del sitio u objeto.
12	<b>Notas adicionales del proyecto</b>	Cualquier nota adicional que se considere adecuada.
13		
14	<b>2a- Metadatos Cámara (cámaras)</b>	
15	<b>Nombre del fichero de Cámara</b>	Nombre exacto del fichero de calibración de la cámara.
16	<b>Fecha de calibración</b>	Fecha en que se realizó la calibración.
17	<b>Especificaciones de la cámara</b>	Marca y modelo específicos de la cámara y objetivo empleados.
18	<b>Dimensiones del sensor en pixels</b>	Anchura y altura de la matriz digital medida en píxeles.
19	<b>Dimensiones del sensor en mm</b>	Anchura y altura de la matriz digital medida en milímetros.
20	<b>Longitud focal y punto principal</b>	Longitud focal y punto principal obtenidos en la calibración de la cámara.
21	<b>Distorsiones de la lente (parámetros K1, K2, P1 y P2)</b>	Parámetros de distorsión radial y tangencial obtenidos en la calibración de la cámara.
22	<b>Distorsión afín</b>	Parámetros de distorsión afín (si se han medido)
23	<b>Valores de calidad de la calibración</b>	Valores de calidad, como RMS general, residuo máximo y cobertura fotográfica (%) en el proceso de calibración.
		Informe sobre la calidad de la calibración de la cámara que incluye, como mínimo, la correlación entre los

Figura 9 Ejemplo de plantilla de metadatos para un proyecto fotogramétrico.

## 9 Cierre

En este artículo se han presentado las principales etapas que se han de seguir en la planificación y ejecución de un proyecto fotogramétrico de objeto cercano, estableciendo los criterios fundamentales y proporcionando una guía básica para la selección de los parámetros adecuados.

## 10 Bibliografía

### 10.1 Libros

Abaurrea Velarde, J. (2005). *Fotografía digital para torpes*. Madrid: Anaya Multimedia, D.L.

Ang, T. (2006). *Manual de fotografía digital*. Barcelona: Omega.

Gómez González, E. (2012). *Guía para conocer las cámaras de fotografía digital*. Sevilla: Victoria.

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2013). *Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging* (2nd ed.). Berlin/Boston: Walter de Gruyter.

## 10.2 Artículos

Ntregka, A., Georgopoulos, A., & Santana Quintero, M. (2013). Photogrammetric exploitation of HDR images for cultural heritage documentation. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, II-5/W1, 209-214.

Wenzel, K., Rothermel, M., Fritsch, D., & Haala, N. (2013). Image acquisition and model selection for Multi-View Stereo. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL(February), 251-258. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-251-2013>

## 10.3 Recursos electrónicos

Web *Geospatial Modeling & Visualization*: <http://gmvc.cast.uark.edu>

<http://fotografiadigital.blogs.upv.es/> → <http://fotoigual.com/>

<http://www.dzoom.org.es/>

<http://www.thewebfoto.com/>

<http://camerasim.com/>