



Centro
Universitario
de Mérida

TÉCNICAS Y MÉTODOS DE DOCUMENTACIÓN DEL PATRIMONIO

Modelización 3D, fotografía digital y difusión de la información

Esta serie de cuadernos tiene como objetivo difundir un conjunto de técnicas usadas principalmente para la construcción y documentación de modelos tridimensionales (3D) y fotografía de alta resolución de objetos arqueológicos. Estas técnicas posibilitan construir modelos con calidad métrica contrastada, color calibrado y alta resolución que se difunden por internet usando diversas plataformas. El material usado está integrado en el CMPLab del Centro Universitario de Mérida y en el grupo de investigación Kraken de la Universidad de Extremadura (UEX).



De arriba abajo: preparación de sesión fotográfica, cámara fotográfica Pentax 645Z y Escáner de luz estructurada Go!Scan.

¿Qué son los modelos 3D?

Los modelos 3D son réplicas digitales de un objeto real que pueden ser tratadas, representadas y difundidas como cualquier archivo digital.

El proceso de medida del objeto (digitalización) se realiza no sólo para determinar la forma de la superficie del objeto sino que puede incluir también el color, consiguiendo una representación más realista del original.

Actualmente podemos crear modelos 3D de objetos o escenas mediante dos formas concretas, que serán las tratadas en estos cuadernos: escaneo 3D y fotografía digital.

Un **escáner 3D** es un dispositi-

vo que analiza un objeto para obtener datos sobre su forma y geometría y a veces sobre su color. La información recogida se analiza con un software específico que permite construir modelos digitales tridimensionales para multitud de aplicaciones. Un escáner 3D permite, por tanto, digitalizar objetos para tenerlos en forma virtual y acceder a más información.

Otra forma de generar modelos 3D es a partir de la fotografía digital con los **sistemas de modelado basado en imágenes** (IBM, *Image-Based Modelling*). Los sistemas IBM crean un modelo 3D de un objeto o escena a partir de un



Modelo 3D de una reproducción del busto del dios Zeus. Ver en: <https://skfb.ly/6S8AT>

conjunto de imágenes digitales solapadas realizadas cubriendo todo el objeto a representar. Se extraen los elementos invariables de imágenes consecutivas y se resuelve la geometría del objeto de forma conjunta.

Material utilizado en los cuadernos

Para la digitalización con escáner se han usado dos escáneres de luz estructurada, Creafom Go!Scan 20 y Go!Scan 20, y un escáner de escritorio NextEngine.

La fotografía digital y los modelos IBM se han realizado mediante una cámara fotográfica digital de formato medio Pentax 645Z, objetivos de focal fija Pentax de 120 mm (macro) y 55 mm con correc-

ción geométrica automática, y paneles de iluminación NanGuang LED con índice de reproducción cromática, IRC > 95. En algunos casos se ha utilizado una cámara Nikon D7000 con objetivo Tokina macro de 100 mm macro, además de material auxiliar (fondos, trípode...).

Las aplicaciones informáticas han sido diversas, destacando las siguientes:

[VXScan/VXModel](#)

[Agisoft Metashape](#)

[Meshlab](#)

[Cloud Compare](#)

[Adobe Photoshop CC](#)

[ImageJ](#)

[DStretch](#)

[Helicon Focus](#)

[ICE Image Composite Editor](#)

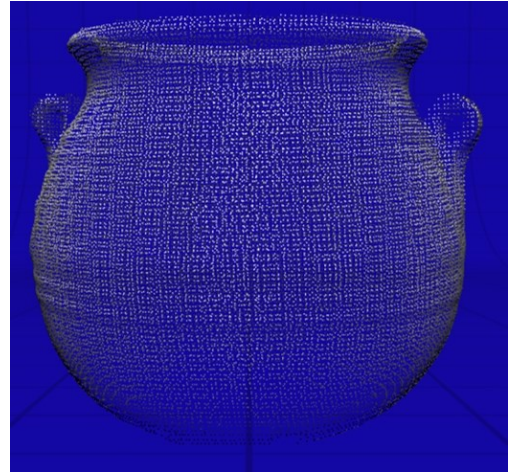
Conceptos básicos

Cuando creamos un modelo 3D de un objeto, tanto si usamos un escáner como con fotografía digital, se genera en primer lugar una **nube de puntos** o conjunto no organizado de puntos 3D (X, Y, Z) que es una representación discreta de la superficie continua de un objeto. Estas nubes de puntos que conforman el objeto, serán dispersas inicialmente, pudiendo densificarse en pasos posteriores o según la resolución elegida.

Las nubes de puntos se transforman en **mallas** de polígonos o

triángulos en lo que se conoce como **reconstrucción de superficies**. Una malla triangular usa los puntos de la nube como vértices de los triángulos asignándoles, a su vez, propiedades topológicas. Las mallas pueden ser reducidas mediante algoritmos de generalización.

Si además existe información de color gracias a una cámara fotográfica, podemos determinar los colores de la superficie del objeto y añadir **textura** o información fotorrealista sobre la malla del objeto. La calidad de la textura será de gran importancia en modelos de objetos arqueológicos.

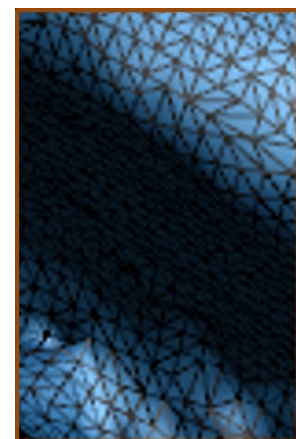


Nube de puntos del escaneo de una vasija. Los puntos conforman el objeto pero la estructura debe mallarse para que los vértices (puntos) tengan una topología asociada.

Malla

Debemos acotar la exactitud métrica del dispositivo con el que generamos el modelo (escáner 3D o sistemas IBM) para conocer la incertidumbre en la forma y tamaño del mismo.

También necesitamos saber la calidad y fidelidad de la representación de la textura.



Textura

Arriba izquierda, imagen de la malla construida a partir de la nube de puntos.

Arriba derecha, detalle de la malla.

Abajo, izquierda, modelo 3D sin textura. No siempre es necesaria la textura para, por ejemplo, un análisis métrico.

Abajo, derecha, modelo 3D final texturado.



Escáner 3D vs modelos IBM

Como ya se ha indicado, los modelos 3D de piezas arqueológicas se construyen principalmente usando escáneres 3D y con modelado basado en imágenes. En este último caso, será a partir de un conjunto de fotografías digitales solapadas realizadas sobre el objeto, como se explicará en los cuadernos siguientes.

Ambas técnicas pueden ser compatibles y presentan fortalezas específicas y ciertas diferencias:

Escáner 3D

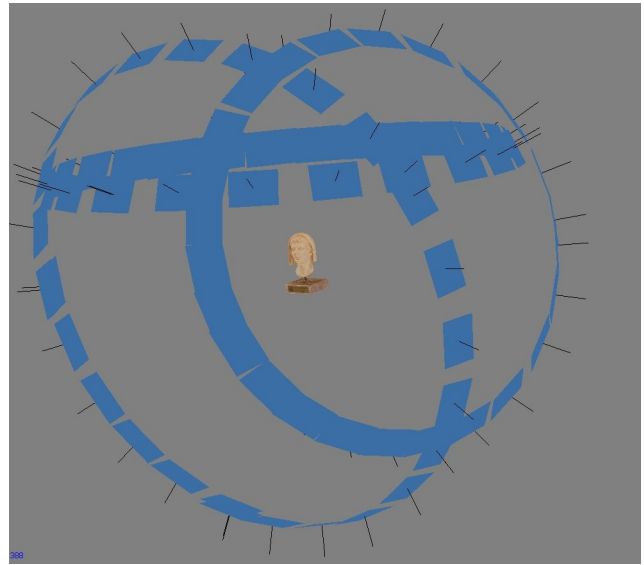
- La exactitud métrica suele ser alta pudiendo llegar en algunos equipos a la décima de mm.
- Los modelos generados están escalados y permiten realizar medidas en unidades reales.
- La curva de aprendizaje suele ser más larga que la de los sistemas IBM.
- La calidad de la textura depende de la calidad de la cámara asociada al escáner.

Modelado basado en imágenes

- La exactitud métrica suele ser inferior a la de los escáneres y estar menos controlada.
- Gran calidad en la textura que puede aumentarse con métodos de calibración del color.
- Existencia de aplicaciones gratuitas o de bajo coste y servicios web que desarrollan el proceso de generación del modelo de una forma automatizada.
- Los modelos tienen unidades arbitrarias, por lo que recomendamos fotografiar un elemento de magnitud conocida que permita posteriormente escalar el resultado.
- Dado que para modelar con este sistema sólo es necesaria una cámara de fotos y estas se pueden adquirir a un precio razonable, los sistemas IBM se han popularizado enormemente en los últimos años.



Escaneo de una reproducción de copa de vidrio romana mediante el escáner de escritorio NextEngine.



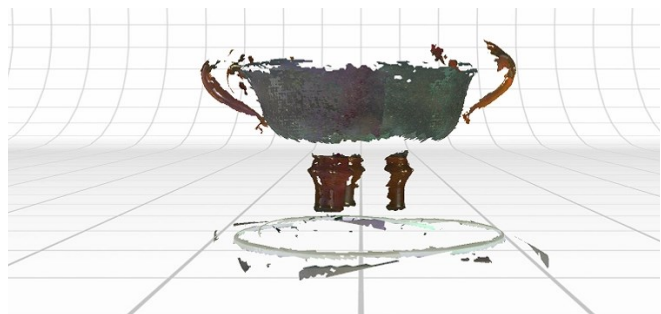
Creación de un modelo 3D mediante sistemas IBM. Es necesario procesar con aplicaciones específicas un conjunto de fotografías solapadas (representadas por rectángulos azules) cubriendo todo el objeto a modelar.

Debilidades

Tanto los escáneres 3D como los sistemas IBM presentan las siguientes debilidades:

- El tiempo de procesado puede crecer exponencialmente con la resolución exigida en los escáneres o con el número de fotos tomadas en los sistemas IBM.
- El modelo final suele ser muy pesado y difícil de manejar si se ha elegido una resolución muy alta (escáneres) o se han usado muchas fotografías de alta resolución (sistemas IBM).
- No todos los objetos pueden ser escaneados. Va a ser muy difícil, y a veces imposible, modelizar objetos muy poco reflectantes, transparentes, muy brillantes o especulares. En estos casos, las aplicaciones informáticas no encuentran los puntos homólogos por problemas ópticos.

La superficie idónea es aquella de color claro, opaca y con reflectancia lambertiana.



Resultado erróneo del escaneo de la reproducción de la copa de vidrio. El escáner no logra crear el modelo correctamente dadas las características semi-transparentes de la pieza.

CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida.**

(Universidad de Extremadura)

Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>

Correo: cmplab@unex.es



Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital



Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es

María Eugenia Polo, mepolo@unex.es

Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>



GRUPO KRAKEN

ANÁLISIS DE DATOS
REPRODUCCIÓN Y MODELADO 3D



El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexos es la captura y procesado de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

Otros cuadernos de la serie



Izquierda: Modelo 3D de una réplica de cerámica romana de sigillata negra. Mide 10 cm de diámetro por 14 cm de altura. Fotografiado con cámara Nikon D7000 con objetivo Tokina macro de 100 mm y procesado con Agisoft Photoscan Standard.

Acceder al modelo en <https://skfb.ly/VrYG>

Centro: Proyección de un patrón de luz estructurada sobre la superficie del objeto.

Derecha: modelo 3D de un útil del Paleolítico (aprox. 10000 a.C.), capturado sin textura (ver en <https://skfb.ly/6JOWJ>)



Centro
Universitario
de Mérida

CONSTRUCCIÓN DE MODELOS 3D CON ESCÁNER

Construcción de modelos 3D con escáneres

En este cuaderno se describe cómo se construyen modelos digitales en tres dimensiones y alta resolución de objetos de pequeño o mediano tamaño mediante digitalización con un escáner 3D. Dichos modelos reflejarán no solo la forma sino también el color y podrán ser distribuidos en formatos estándar (OBJ, U3D...) para su análisis. Con estos modelos es posible también construir un catálogo virtual para su difusión por internet o ser la base de análisis morfológicos y métricos.

Decisiones:

Resolución y exactitud: desde un par de mm hasta micras, hay modelos de escáneres adecuados para las exigencias de resolución espacial en la localización de los puntos 3D. Los escáneres usados en nuestros proyectos tienen un error inferior de 0.5 mm.

Textura: la captura simultánea del color de la superficie del objeto es una opción de interés en los objetos arqueológicos pero prescindible en otros casos.

Puntos de interés especial:

- Los objetos pueden ser escaneados para construir modelos digitales con su forma, color y medidas correctas.
- Los modelos pueden difundirse fácilmente por internet, además de existir sitios donde pueden ser expuestos a modo de catálogo virtual.
- Los modelos pueden ser usados para medir dimensiones, realizar secciones y, en general, permiten analizar el objeto eliminando la necesidad de manipularlo directamente.

¿Qué es un escáner 3D?

Un **escáner 3D** es un dispositivo que analiza un objeto para obtener datos sobre su forma y geometría. Se digitalizan objetos para tenerlos en forma virtual y acceder a más información.

El proceso de medida del objeto (digitalización) se realiza no sólo para determinar la forma de la superficie del objeto sino que puede incluir también el color, consiguiendo una representación más realista del original.

El proceso general suele incluir los siguientes pasos:

Digitalización: mediante un escáner 3D se miden las coordenadas de miles de puntos en

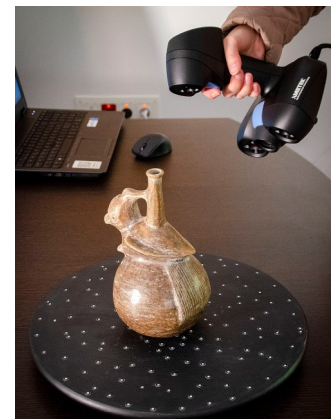
la superficie del objeto en un proceso sin contacto.

Construcción de un modelo métrico: mediante aplicaciones informáticas se corrigen los posibles errores y se construye un modelo sólido con dimensiones exactas.

Captura de color simultánea al escaneo mediante cámaras digitales incorporadas.

A partir del modelo anterior es posible realizar medidas, perfiles y secciones contando con que las distancias están afectadas con una incertidumbre de entre 0.1 y 0.5 mm con los modelos de escáner utilizados.

Publicación en internet: los



Escáner Go!Scan de luz estructurada con captura de color.

modelos pueden ser transformados a un formato para su presentación en un catálogo virtual donde cada pieza puede ser girada, ampliada y reducida a voluntad.

Programas de modelado 3D en museos

El descenso de precio de los escáneres y la convicción de que se trata de una tecnología que aporta un valor añadido importante a la observación y análisis, ha hecho que los programas de digitalización sean ya relativamente comunes en museos, galerías y otras instituciones culturales. Muchas de ellas han decidido usar una web de alojamiento específica

para modelos 3D: Sketchfab. Allí encontramos facilidades para mostrar los objetos, iluminarlos con luces de tipo y tonalidad diversa, definir propiedades reflectivas de la superficie, aplicar filtros post-proceso o redactar metadatos. Algunas instituciones que han elegido esta plataforma para la difusión de sus modelos son:

- [Museo Arqueológico Nacional](#)
- [Museo Maya de Cancún INAH](#)
- [Museu d'Arqueologia de Catalunya](#)
- [The British Museum](#)
- [Museo de Pontevedra](#)
- [National Gallery of Denmark](#)
- [Archaeological 3D VM of Prague](#)
- [Natural History Museum of Barcelona](#)
- [Royal Museum for Central Africa](#)
- [Rnm-Grand Palais](#)

Características de los escáneres

Hay varios modelos de escáneres 3D. Para piezas arqueológicas hay dos tipos principales: láser y luz estructurada.

Los **escáneres láser** funcionan por triangulación: un punto iluminado con un láser va barriendo el objeto y su posición es recogida mediante un sensor. Basándose en la posición de emisor y receptor, es posible estimar las coordenadas XYZ de cada punto sobre el objeto en un sistema de coordenadas local. Los **escáneres de luz estructura-**

da proyectan sobre el objeto un patrón similar a un código QR que es leído por sensores fotográficos. Según el escáner y el objeto se mueven uno respecto al otro, la trama se deforma en función de la superficie iluminada, algo que es interpretado para restaurar la forma de esa superficie.

Los escáneres que usamos son un Go!Scan 20 y un Go!Scan 50. El primero se usa con objetos de hasta 20-30 cm y el segundo para piezas mayores, hasta 2 m aproximadamente.



Proyección de un patrón de luz estructurada sobre la superficie del objeto.

Preparación

Cuando se trata de piezas de tamaño moderado, comenzamos colocando el objeto sobre una tabla giratoria de superficie negra que tiene una serie de dianas reflectantes de color blanco. Las dianas funcionan como puntos de referencia que ayudan al software a determinar la posición relativa del escáner respecto a la pieza (auto-orientación). El escaneo se realiza girando poco a poco la tabla para barrer la totalidad del objeto y moviendo el propio escáner sobre la pieza. La pérdida ocasional de la auto-orientación se corrige muy fácilmente si hay dianas. Éstas son adhesivas y pueden ponerse, en caso necesario, sobre la propia pieza si no se compromete su integridad. El diámetro de las dianas depende del modelo de escáner y su distribución no debe ser regular.



Abajo: Escaneo del Jarro de Siruela (siglos VII a VI a.C.). Museo Arqueológico de Badajoz.

Es posible escanear un objeto sin dianas pues el sistema usa la topografía de la superficie del objeto para identificar y crear puntos de referencia. Sin embargo, el uso de dianas sobre la tabla giratoria o sobre el mismo objeto, hace el trabajo más fácil, permite una velocidad de escaneo mayor y reduce las ocasiones en las que el escáner "se pierde".

Escaneo

Una vez colocado el objeto, el escaneo se realiza barriéndolo con el escáner a una distancia entre 30 y 50 cm de su superficie. Dado que se proyecta luz, la zona debe estar en penumbra para introducir el menor ruido posible. El escaneo se ve directamente en la pantalla del ordenador con lo que se puede verificar si hay zonas ocultas o lugares que hemos pasado por alto. No hay problema en detener el proceso (el escáner funciona mediante un gatillo) y continuarlo en la misma zona.

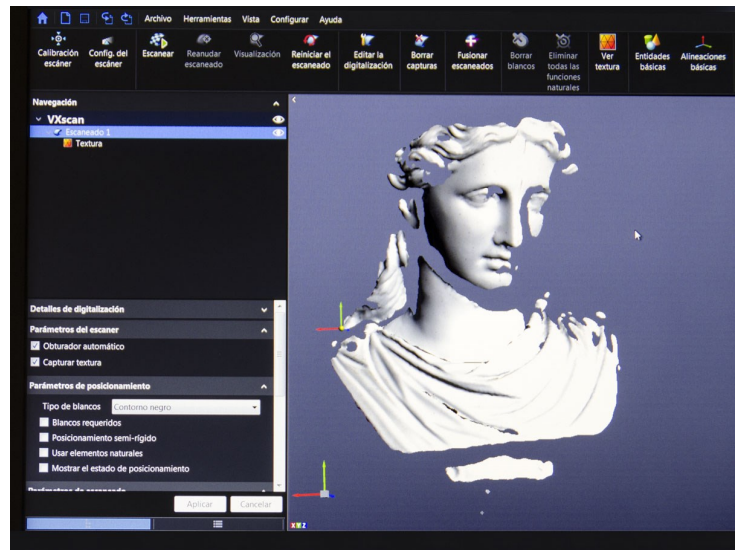
Lo que aparece en la pantalla son datos en bruto y de vez en cuando conviene parar el escaneo y procesarlos, operación que, según la resolución que se haya definido, puede llevar varios minutos.

El escaneo de un objeto puede ser único o estar compuesto por varios independientes. Esto último se hace cuando no es posible escanear completamente el objeto sin cambiarlo de posición. Cuando hay dos o más escaneos será necesario fusionarlos en la fase de postproceso.



Video del proceso

El video muestra el proceso de escaneo tal como se ve en la pantalla. La zona activa es la de color azul claro. En los primeros segundos se puede ver una zona azul oscuro que significa que el escáner no ha conseguido aún orientarse. La barra vertical en color, a la izquierda de la ventana activa, muestra la distancia del escáner al objeto. Si la distancia es correcta aparece de color verde y las medidas se realizan sin problema. Si es demasiado pequeña, aparece primero en amarillo (precaución) y luego en rojo (fuera de rango); de forma similar, si la distancia es demasiado grande, se muestra de color azul. Cuando el escáner está fuera de rango no toma medidas. Las circunferencias azules que van apareciendo sobre la figura son puntos de apoyo que se van creando al escanear. En este caso, un busto de escayola, no es necesario mover la figura y la base no escaneada se cerraría posteriormente con un plano. En otros casos, se harían dos escaneos para fusionarlos en el postproceso y obtener la figura completa.



El video se puede ver en Youtube :
<https://youtu.be/QzCjCS5wAM>

Postproceso

Tras escanear un objeto vamos a tener dos o más nubes de puntos; típicamente, una de ellas será con la pieza de pie y otra con la pieza invertida, para digitalizar su base y las partes inferiores. Si la pieza es grande, será necesario hacer varios escaneos parciales.

La primera fase del postproceso es la eliminación de todos los puntos de la nube que no pertenezcan al objeto (mesa o fondo, por ejemplo), así como de los puntos erróneos o desconectados.

La segunda fase es la fusión de las nubes de puntos, proceso que se realiza en pantalla señalando un mínimo de tres puntos homólogos en cada escaneo. El software no necesita una alineación perfecta: a partir de una aproximación, busca el mejor ajuste y alinea automáticamente los escaneos.

Fusionadas las nubes de puntos, el siguiente paso es generar la malla correspondiente, detectar problemas (agujeros, triángulos erróneos, etc.) y corregirlos. Finalmente, se puede simplificar la malla para reducir su tamaño y se le superpone el color del objeto en cada punto.

La etapa final suele consistir en la exportación del modelo a algún formato legible por otros programas. Cuando sólo hay forma, no textura, es habitual el formato STL. Cuando el modelo tiene color, el formato OBJ es adecuado; en este caso, la textura va asociada a un archivo JPG o BMP. Es habitual la revisión y edición con programas como Blender o Meshlab.

Problemas conocidos

No todos los objetos pueden ser escaneados. Como el método consiste en proyectar luz sobre una superficie, hay características que impiden que el escaneo funcione: no es posible escanear objetos de vidrio o, en general, transparentes; tampoco son escaneables las superficies muy poco reflectantes o, al contrario, especulares. La superficie idónea es aquella de color claro, opaca y con reflectancia lambertiana.



Arriba izquierda: modelo 3D de una jarra (siglos VII-VI a.C.) de unos 15 cm de altura, procedente de Aliseda, Cáceres (MAN 28583), ejemplo de objeto complejo por la transparencia parcial y los reflejos (ver en <https://skfb.ly/6JPot>).

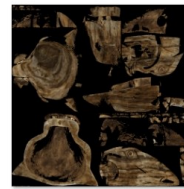
Arriba derecha: modelo 3D de un útil del Paleolítico (aprox. 10000 a.C.), capturado sin textura (ver en <https://skfb.ly/UBnP>).

Formatos

En cuanto a los formatos usados para trabajar con modelos 3D, **OBJ** es probablemente el formato de fichero de malla más popular usado en aplicaciones de modelado 3D. Desarrollado por *Wavefront Technologies*, un fichero OBJ contiene las coordenadas 3D (líneas poligonales y puntos) mapas de textura y otra información del objeto. Es un formato muy extendido, que se compone de 3 ficheros: uno con el mapa de texturas (bmp, jpg o png), otro obj con la información geométrica y un tercero mtl que relaciona los dos anteriores.

Otro formato de interés para nuestro trabajo en modelado 3D es el **U3D** (*Universal 3D*), un formato comprimido, estándar, definido por el consorcio *3D Industry Forum*, donde intervienen empresas como Intel, Boeing, HP, Adobe Systems... y que fue posteriormente normalizado por ECMA International (Asociación Europea de Fabricantes de Ordenadores).

El formato **STL** (Stereolithography) desarrollado por 3D Systems es muy habitual para impresión 3D. Se implementó para transferir datos de forma rápida desde modelos CAD 3D a impresoras 3D. Su principal limitación es que solo contiene información de la geometría del objeto pero no de la textura o color.



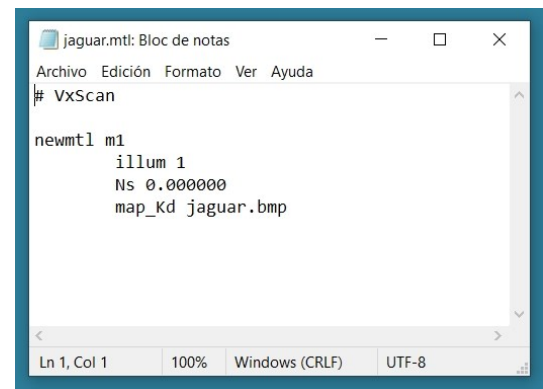
jaguar.bmp



jaguar.mtl



jaguar.obj



Arriba: Formato OBJ, conserva la geometría y la textura. Se compone de 3 ficheros: bmp, jpg o png (mapa de texturas), mtl y el obj.

Abajo: Fichero mtl haciendo referencia a la textura.

CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida**.

(Universidad de Extremadura)

Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>

Correo: cmplab@unex.es



Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es

María Eugenia Polo, mepolo@unex.es

Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>



GRUPOKRAKEN

ANÁLISIS DE DATOS
REPRODUCCIÓN Y MODELADO 3D



El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexo es la captura y procesamiento de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital



Unión Europea



Centro
Universitario
de Mérida

ESCÁNER DE ESCRITORIO DE BAJO COSTE

Escáner de escritorio NextEngine

En este cuaderno se describe cómo funciona el escáner de escritorio NextEngine, diseñado para el escaneo de pequeños objetos. Su funcionamiento se basa en una tecnología original llamada triangulación láser multibanda (*Multi-Stripe Laser Triangulation, MLT*) al proyectar una banda-láser múltiple gracias a dos matrices gemelas de cuatro láseres (rojo, 650 nm) y a registrar la posición de los puntos con una cámara CCD. Se puede consultar más información en <http://www.nextengine.com/>



*Escáner de escritorio de bajo coste
NextEngine.*

Proceso de trabajo 1: escaneo por planos

El escaneo se realiza colocando la pieza delante del escáner sobre un plato giratorio. En este momento se elige el modo de escanear que depende esencialmente de la forma de la pieza. La modalidad más completa es el escaneo de 360° que se realiza en planos (a elegir entre 4 a 12).

El tiempo de escaneo depende del tamaño del objeto, de la resolución y del número de planos requerido, pudiendo ser de varias horas en casos extremos.

En el proceso, el escáner realiza una fusión automática de los planos de escaneo para generar un conjunto único de decenas de miles de puntos

con coordenadas 3D sobre el cual superpone el color capturado por las cámaras.

Las zonas ocultas se cubren moviendo la pieza y escaneando en otra posición. Los diferentes modelos pueden unirse posteriormente señalando puntos comunes.

Tiene una cámara de 1248x864 píxeles. La limitada resolución es suficiente para el modelo pero no para documentación con ciertos requerimientos de calidad.

Para realizar las fotografías del objeto se ilumina con LEDs, por lo que es posible dejar el escáner funcionando en un entorno sin luz ambiente.



*El color se toma con iluminación
LED y una cámara interna.*

Puntos de interés especial:

- Escáner de sobremesa que trabaja sobre una superficie plana donde se ubica el escáner y la plataforma giratoria.
- Portátil (peso aproximado de 3.2 kg), puede montarse sobre un trípode.
- Dos modos de trabajo: macro (objetos pequeños, de hasta 96x129 mm, 0.13 mm de precisión) y wide (objetos de hasta 420x570 mm, 0.38 mm de precisión nominal).
- Software propio (ScanStudio y ScanStudio Pro) con funcionalidades para exportación a CAD.



*Izquierda: vista lateral de la
pieza de cerámica usada en el
ejemplo (réplica de vaso minoico).*

NextEngine es un escáner de corta distancia, inadecuado para piezas de tamaños grandes. Como en otros casos, es difícil escanear piezas de vidrio o muy brillantes, aunque pueden recubrirse con polvo inerte o magnético.

Proceso 2: fusión de los modelos

Sobre la nube de puntos se construye una malla de triángulos que puede ser simplificada de acuerdo con los requerimientos del proyecto. Dado que todo modelo tiene zonas ocultas (como mínimo la base) es necesario construir al menos dos modelos para luego realizar su fusión. Es habitual en el caso de cerámica escanear en posiciones a 90° (vertical y tumbada).

Cuando disponemos de dos o más escaneos diferentes hay que alinearlos. Este proceso

es una operación semiautomática y se lleva a cabo seleccionando al menos tres puntos comunes entre ambos escaneos.

Como el modelo final no estará exento de errores, será necesario realizar una serie de operaciones de corrección de errores topológicos y de reducción de ruido y suavizado de la malla. La opciones del software (ScanStudio) son limitadas, por lo que se recomienda exportar la malla para depurarla en otra aplicación.

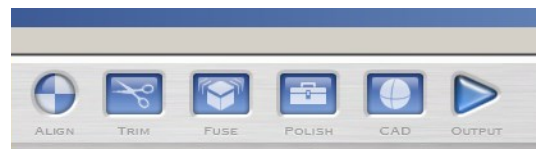
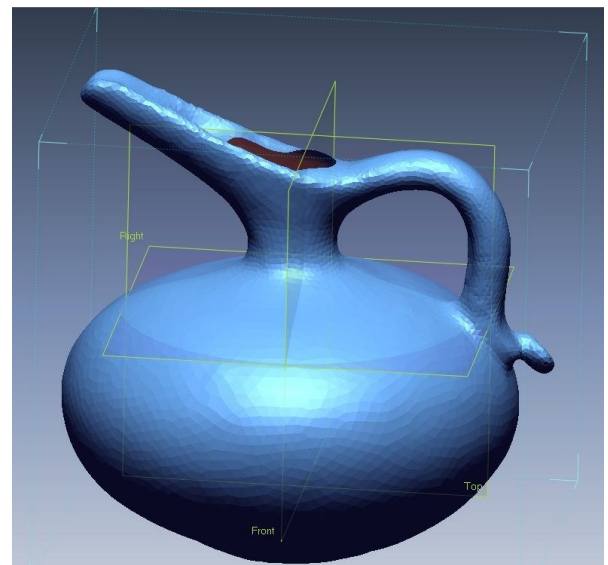


Escaneado en posición oblicua para cubrir zonas no visibles en otras posiciones.

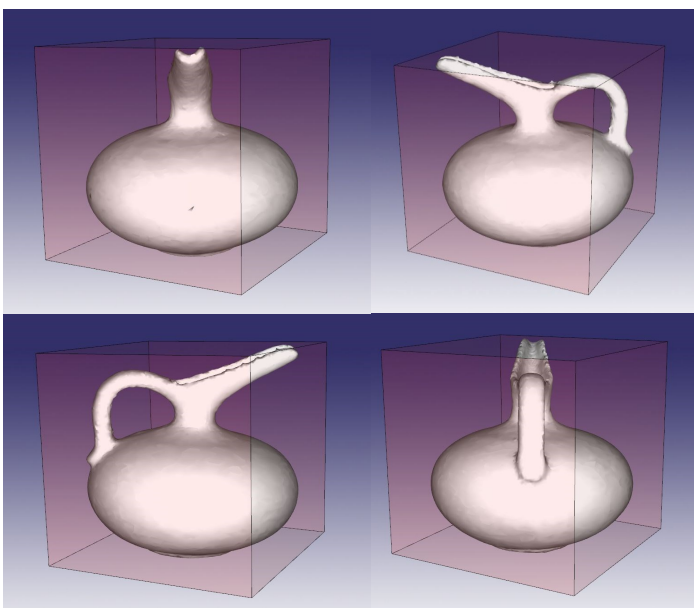
Proceso 3: vistas, secciones y acotaciones

Se muestra una primera utilidad general: disponer de vistas normales a los planos de simetría. Estas vistas ya están referidas a un sistema de referencia que permite la medida, secciones y acotaciones. Asimismo, en el ordenador, el modelo puede girarse, ampliarse y reducirse para su observación desde cualquier punto de vista.

En caso necesario, objetos incompletos pueden ser “rellenados” si se asumen ejes o planos de simetría, con lo que las medidas y formas básicas pueden estimarse aunque haya fragmentos perdidos.



El flujo de trabajo es simple y está muy automatizado. Tras el escaneo del objeto en varias posiciones, si es necesario, se recortan las partes sobrantes y se alinean los diferentes escaneos. Tras la corrección de errores topológicos se puede guardar en formato CAD (si tenemos disponible esta opción en ScanStudio Pro). Para ajustes más profundos se recomienda usar otra aplicación de tratamiento de mallas.



Formas y medidas Errores e incertidumbres

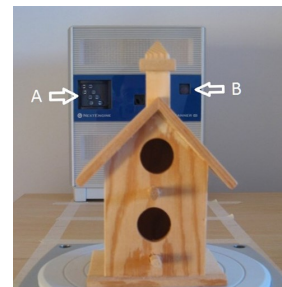
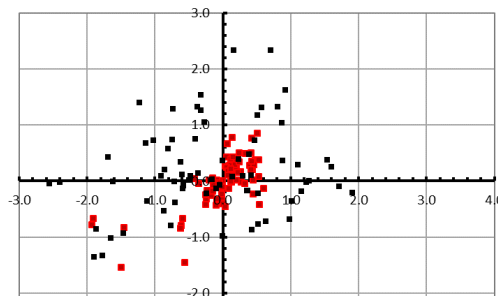
Los modelos permiten extraer datos métricos de diverso tipo y no solo acotaciones como, por ejemplo, el volumen de la pieza o las relaciones entre puntos singulares. Los grafos que unen estos puntos pueden luego ser comparados mediante técnicas estadísticas como el método de Procrustes para, por ejemplo, hacer objetivos los cambios de morfología en una serie temporal.

Los grafos pueden formar parte de los metadatos asociados a la pieza, así como cualquier otra elaboración estadística.

Estudios de repetibilidad de este escáner muestran que la incertidumbre en el modo *macro* es aproximadamente la mitad que en el modo *wide* y que la exactitud probada es significativamente menor que la indicada por el fabricante.

Más información en:

Polo, M. E.; Felicísimo, Á. M. (2012). Analysis of uncertainty and repeatability of a low-cost 3D laser scanner. *Sensors*, 12 9046-9054. DOI: [10.3390/s120709046](https://doi.org/10.3390/s120709046)



El material para escanear es reducido: escáner, plato giratorio, ordenador y software específico. El plato giratorio es un elemento auxiliar del escáner y debe colocarse con el cable extendido para trabajar en el modo wide.

CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida**.

(Universidad de Extremadura)

Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>

Correo: cmplab@unex.es



Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital



Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es

María Eugenia Polo, mepolo@unex.es

Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>



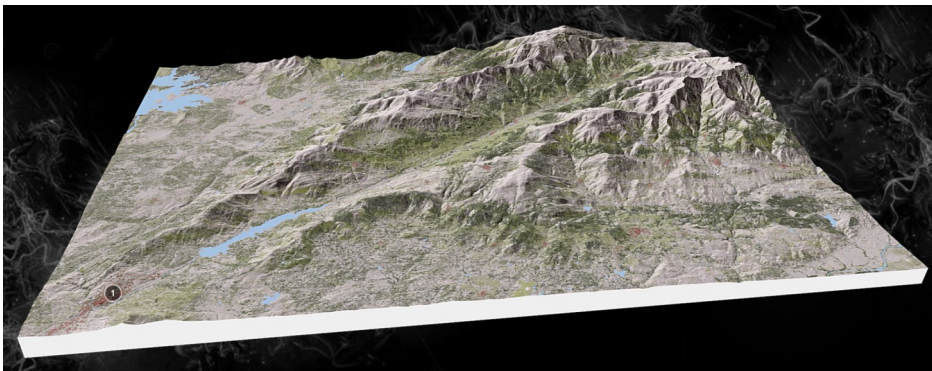
GRUPO KRAKEN

ANÁLISIS DE DATOS
REPRODUCCIÓN Y MODELADO 3D



El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexo es la captura y procesado de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

Otros cuadernos de la serie (metodología)



Un **bloque diagrama** es una imagen que representa el terreno en perspectiva, buscando una mejor comprensión de la topografía, cobertura del suelo u otras características que las representaciones en dos dimensiones, como planos y mapas.

Un **bloque-diagrama interactivo** es un modelo 3D que puede ser girado, aumentado o reducido mediante una aplicación específica. Este bloque diagrama representa al Valle de Jerte (Cáceres, España) y se puede ver [aquí](#).



A partir de los bloques-diagrama interactivos es posible realizar animaciones simulando vuelos o, como la de la izquierda, rotando el bloque. Los bloques diagrama están en la plataforma Sketchfab y hemos creado [un canal en YouTube](#) con listas de reproducción temáticas para visualizar las animaciones donde el modelo rota 360°. En este caso, el bloque-diagrama original es del entorno del Pico Espigüete, en el norte de Palencia, España.

Pico Espigüete, Palencia, España.



Apuntes de fotografía

En este cuaderno y el siguiente se resumen unas nociones básicas de fotografía digital en varios apartados. En este hablaremos del diafragma, el obturador y la sensibilidad de una cámara fotográfica.

Apertura

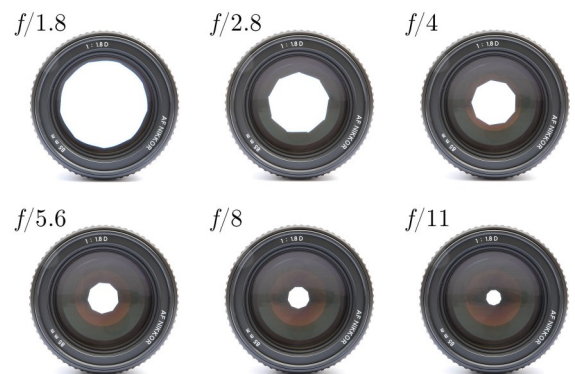
La **apertura** permite controlar la cantidad de luz que incide sobre el sensor. Esto se consigue abriendo o cerrando el **diafragma**, un dispositivo que actúa como la pupila del ojo.

Valores de apertura (f)

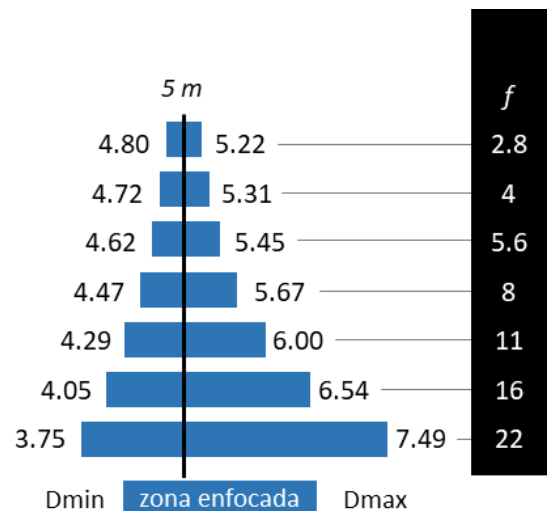
Las diferentes aperturas o tamaños de pupila en el diafragma siguen una escala numérica poco intuitiva basada en el parámetro f . La serie estándar de números f es: 1.4, 2.0, 2.8, 4.0, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32... Los números f van cre-

ciendo según el diafragma se cierra y el paso entre uno y el siguiente reduce la luz a la mitad: un $f=5.6$ deja pasar el doble de luz que un $f=8$ y la mitad que un $f=4$. La disponibilidad de valores concretos depende de cada objetivo: hay objetivos con valores de $f < 1$ de apertura máxima y muchos pueden cerrarse con valores superiores a 32. Una exposición correcta exige que si el valor de f cambia, la velocidad de obturación también lo haga para compensarlo.

Ejemplos de valores de apertura del diafragma



Nikon D850, profundidad de campo
Enfoque a 5 m; objetivo de 100 mm



Efecto en la profundidad de campo

Se denomina **profundidad de campo (PdC)** a la zona comprendida entre el punto más cercano y el más lejano donde la imagen se considera bien enfocada. La profundidad de campo aumenta según cerramos el diafragma. Otros factores influyentes son la longitud focal del objetivo y la distancia de enfoque. En el gráfico de la derecha se muestran las distancias mínimas y máximas correspondientes a una distancia de enfoque de 5 m; con $f=16$, la PdC es de 2.49 m (entre 4.05 y 6.54 m), pero si se enfocara a 10 m, la PdC aumenta a 12.28 m (entre 6.78 y 19.05 m).

La PdC debe controlarse para asegurar que el objeto queda completamente enfocado o para conseguir que el fondo quede difuso, por ejemplo. Los valores de PdC pueden conocerse con [calculadoras específicas](#).

Efecto sobre la nitidez de la imagen

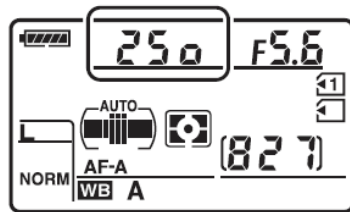
La nitidez y la presencia de aberraciones cromáticas y distorsiones de una imagen varían según el valor f de apertura debido principalmente a efectos de difracción sobre la pupila del diafragma. Existe un valor óptimo de f para el cual estos problemas se minimizan. Los diafragmas menos nítidos están siempre en los valores extremos y el óptimo suele ser un f intermedio, frecuentemente alrededor de $f=8$. En el caso de un objetivo *zoom*, las propiedades anteriores pueden variar para cada valor de distancia focal. Si se busca la mayor nitidez posible, hay que asegurarse de que el valor de f se acerca al óptimo y que todo el objeto está incluido dentro de los límites de la profundidad de campo (salvo que se busque un efecto diferente).

El obturador

El **obturador** controla el tiempo que la luz penetra por el objetivo e incide sobre el sensor; para ello se usan sistemas de cortinas o de láminas móviles que abren o cierran el paso de la luz.

Las velocidades de obturación o **tiempos de exposición** se expresan en segundos o fracciones de segundo: 1/100, 1/250, 1/500, etc. donde, lógicamente, una exposición de 1/50 de segundo supone el doble de luz que una de 1/100 y la mitad que un 1/25. Una exposición correcta exige que si la velocidad de

obturación cambia, la apertura de diafragma f lo haga igualmente para compensar la luz total: si se duplica la velocidad de obturación, el diafragma debe abrirse un paso para que el total de luz incidente se conserve.



f	s
2.8	1/800
4	1/400
5.6	1/200
8	1/100

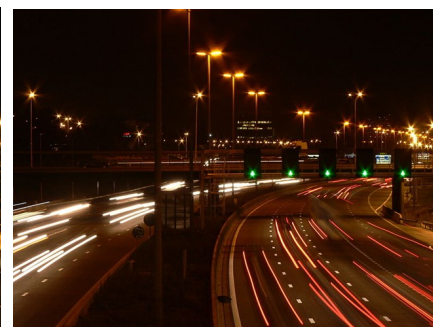
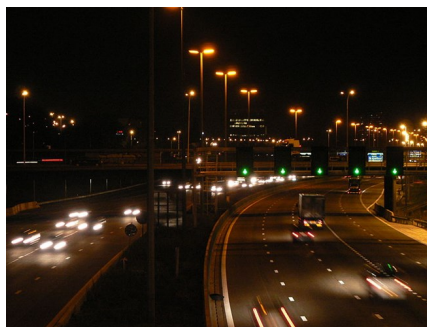


Arriba izquierda: Combinaciones equivalentes de apertura y velocidad.

Arriba derecha: mando de velocidades en una cámara analógica. Izquierda: pantalla de información en una cámara digital.

Obturador y movimiento

El uso de velocidades de obturación mayores o menores depende inicialmente de la luz disponible, ya que la exposición debe ser correcta. Dentro de este condicionante general, hay varias combinaciones de velocidad-diafragma que pueden ser usadas. La elección de velocidades cortas (1/1000 s, por ejemplo) se hará cuando el objeto fotografiado esté en movimiento y deseemos “congelarlo” para conseguir nitidez. La elección de velocidades largas se hará cuando el objeto esté estático o deseemos que salga “movido” por algún motivo.



A la izquierda se ha usado una velocidad de 1/60 s con lo que se ha conseguido limitar el movimiento de los coches aunque no están perfectamente “congelados”. A la derecha se ha usado 1 s de tiempo de exposición y el movimiento de los faros es mucho más evidente. Las luces de las farolas son iguales en ambas fotos ya que son estáticas. Este principio se aplica tanto a sujetos en movimiento como cuando es la cámara la que se mueve (a bordo de un tren o un coche, por ejemplo).

Exposiciones largas

Sujetar la cámara con la mano no es conveniente a partir de 1/60 s de tiempo de exposición aproximadamente, ya que es difícil evitar su movimiento. Las exposiciones largas son necesarias cuando la luz ambiente es escasa o cuando necesitamos una profundidad de campo que nos obliga a cerrar el diafragma. En estos casos es necesario usar sistemas de sujeción como trípodes, monopiés, mesas de reproducción, etc. Todos ellos mantienen la cámara fija y el disparo se hace con sistemas basados en cable, infrarrojo o temporizadores para garantizar que no movemos la cámara al disparar.



Izquierda: disparador remoto por infrarrojos. Derecha: cámara fija sobre carril.

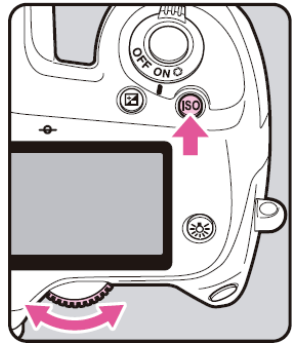
La sensibilidad

Cada sensor tiene una **sensibilidad a la luz** que se define mediante un valor ISO. Ese valor puede modificarse aparentemente hasta conseguir ajustes adecuados a las condiciones de luz.

Valores de sensibilidad

Los valores en la escala ISO (norma 12232) vienen heredados de la fotografía analógica, donde cada película tenía una sensibilidad específica que la hacía idónea para diversas condiciones de luz. Los valores comunes son: 100, 200, 400, 800, 1600... de forma que en cada paso la sensibilidad se duplica. Si pasamos de 200 a 400, podemos cerrar un paso el diafragma o reducir la velocidad de obturación a la mitad.

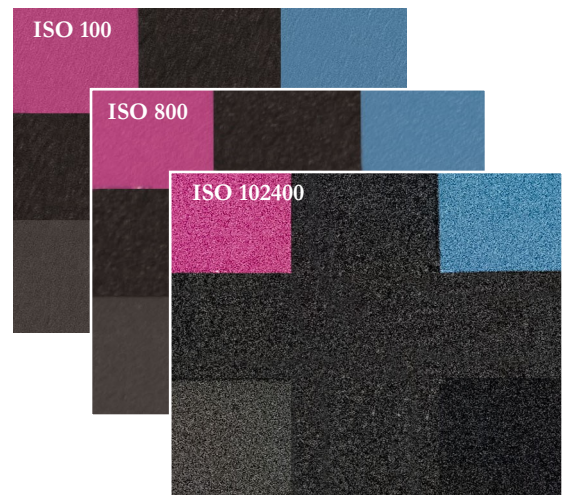
Como norma general, la sensibilidad debe mantenerse siempre en el valor más bajo, que coincide con el valor nativo y real del sensor. Sólo si es realmente necesario se debe aumentar el valor ISO ya que, como veremos a continuación, tiene repercusiones negativas en la calidad de la fotografía.



Ajuste de sensibilidad en una cámara Pentax 645Z.

Sensibilidad y ruido

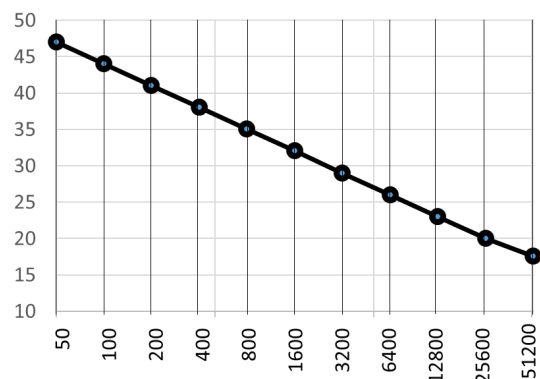
El aumento de sensibilidad no es real ya que se consigue mediante la amplificación electrónica de la salida del sensor. Esa amplificación aumenta tanto la señal como el ruido y, con luz escasa, la relación entre ellas empeora. El ruido aparece como un punteado aleatorio especialmente visible en zonas de color uniforme y en áreas oscuras. Es conveniente realizar pruebas para establecer el ISO máximo aceptable que podemos usar ante situaciones de luz escasa.



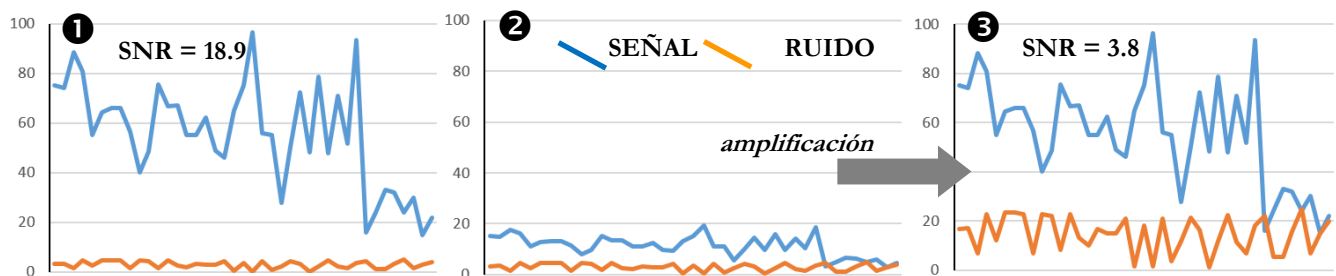
Derecha: tomas correctamente expuestas con diferentes valores de ISO para una cámara Pentax 645Z.

Sensibilidad y relación señal/ruido

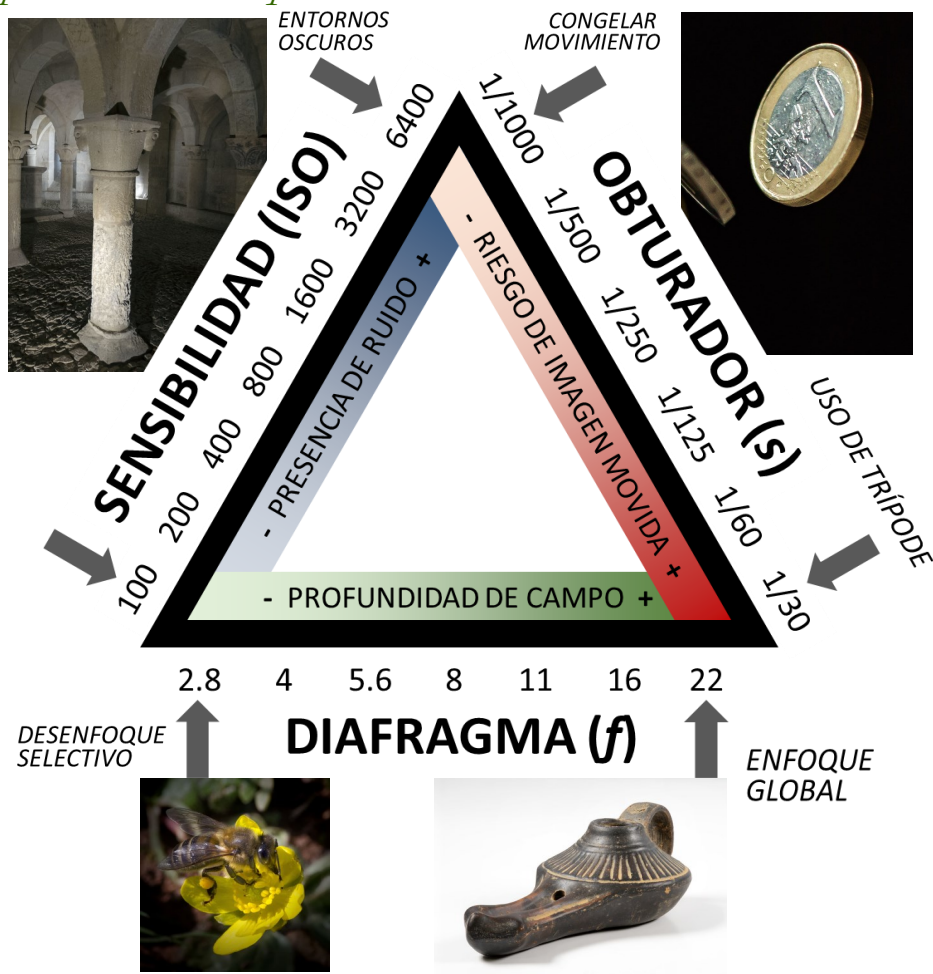
Se denomina relación señal/ruido (**SNR, signal to noise ratio**) a la relación entre los niveles de información real de la imagen y los valores aleatorios, no significativos, generados por la actividad electrónica del sensor. El efecto de elevar el valor de ISO de sensibilidad es que la SNR disminuye degradando la imagen. A la derecha se muestra un gráfico de la relación entre ISO y SNR donde la escala de SNR es logarítmica. La SNR mínima aceptable debe establecerse en función del objetivo de las fotografías. En fotografía de objetos arqueológicos, no debería bajar de 35.



Abajo: Señal y ruido en 1) una imagen bien iluminada, 2) en una imagen con poca luz, 3) La 2 amplificada aumentando la sensibilidad.



Los componentes de la exposición



CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida**.

(Universidad de Extremadura)

Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>

Correo: cmplab@unex.es



Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.

Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es

María Eugenia Polo, mepolo@unex.es

Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>



GRUPOKRAKEN

ANÁLISIS DE DATOS
REPRODUCCIÓN Y MODELADO 3D



El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexos es la captura y procesado de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital



Unión Europea



APUNTES DE FOTOGRAFÍA: DISTANCIA FOCAL, OBJETIVOS Y POLARIZACIÓN CRUZADA

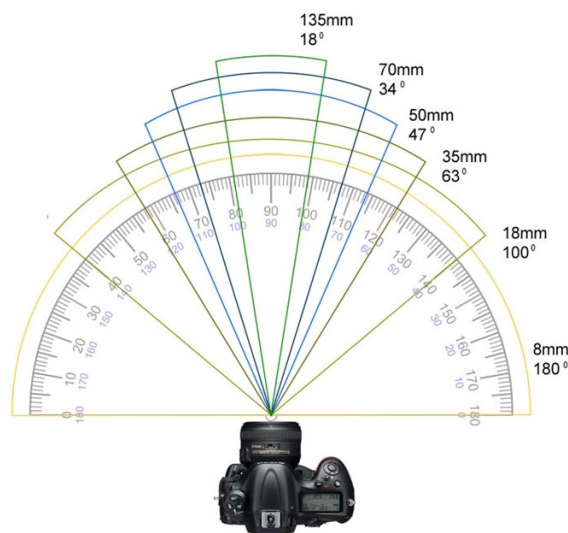
Distancia focal y ángulos de toma

La **distancia focal** (DF) es una propiedad de los objetivos que determina su ángulo de visión o cobertura y, consecuentemente, la parte de la escena que va a ser captada por el sensor.

Formalmente, la distancia o longitud focal de un objetivo es la distancia entre el plano del sensor (plano focal) y el centro óptico del conjunto de lentes. La relación entre distancia focal y ángulo de visión (α) es inversa: a mayor distancia focal, menor ángulo. La imagen de la derecha

muestra las correspondencias entre algunos valores: un objetivo de 35 mm de DF toma imágenes con un **ángulo de visión o cobertura** de 63°.

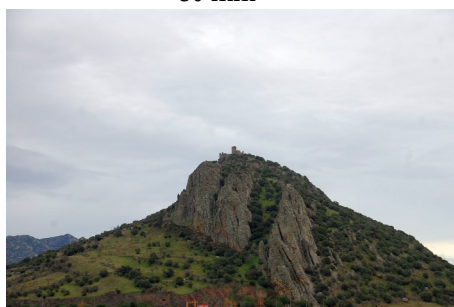
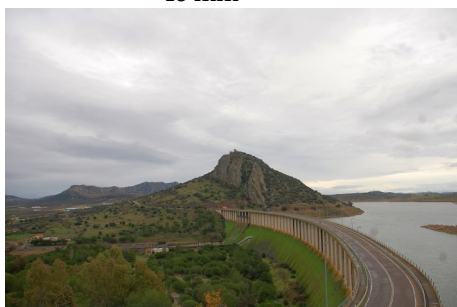
Sin embargo, ese ángulo depende, además de la distancia focal, del tamaño del sensor. Los ángulos de la figura son los correspondientes a un sensor FF (*full frame*, 24 x 36 mm) que se toma como referencia. Obsérvese que un objetivo de 8 mm cubre 180°.



18 mm

50 mm

200 mm

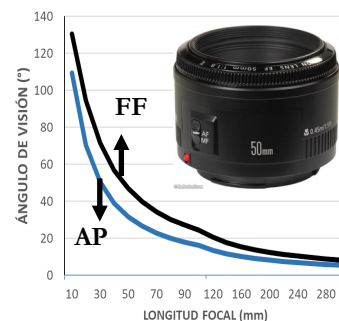


Ángulos y sensores

$$\alpha = 2 \cdot \arctan\left(\frac{d}{2f}\right)$$

El ángulo de cobertura o visión α depende de dos parámetros (ecuación superior): d y f , d es la diagonal del sensor en mm (43.3 mm para un sensor FF) y f es la distancia focal del objetivo, también en mm. ¿Cuál es el ángulo de cobertura para un objetivo de 100 mm si usamos sensores de mayor o menor tamaño que un FF? Para calcularlo basta con cambiar el valor de d . Por ejemplo, el sensor APS-C de la Nikon D7000 (23.6 x 15.6 mm) tiene una diagonal de 28.3 mm; para este valor, el ángulo α de un objetivo de 100 mm es de 16.1° mientras que para un sensor FF sería de 24.4°.

Por tanto, un mismo objetivo tiene ángulos de cobertura diferentes en función del tamaño del sensor: sensores de menor tamaño suponen ángulos igualmente menores para el mismo objetivo. En el caso de la Nikon D7000, el ángulo de cobertura de 16.1° del objetivo de 100 mm correspondería con un objetivo de 150 mm sobre un sensor *full frame*. La relación $df(s)/df(FF)$, donde $df(s)$ es la distancia focal aparente de un objetivo para un sensor s dado y $df(FF)$ la distancia focal del mismo objetivo sobre un sensor FF, se denomina **factor de recorte**. En el caso de la Nikon D7000, con un sensor APS-C, el factor de recorte es 1.5: el ángulo de cobertura de un objetivo de 100 mm se comportará como un 150 mm en una APS-C debido al diferente tamaño del sensor respecto a un FF.



Ángulos de visión para sensores *full frame* (FF, línea negra) y APS-C (línea azul). El ejemplo es para un objetivo de 50 mm.

Tipos de objetivos

Los objetivos permiten que la imagen se forme nítidamente sobre el sensor. Hay tipos básicos diferentes diseñados para resolver problemas y situaciones diversas.

Atendiendo a la estabilidad de la distancia focal, los objetivos pueden clasificarse en dos clases:

- De **distancia focal fija** (*prime lenses*).
- De **distancia focal variable** (*zoom lenses*).

Los objetivos zoom permiten cambiar la distancia focal y, por tanto, el ángulo de visión, mediante un anillo manual o un sistema motorizado que reconfigura la posición de las lentes. Examinando los análisis de los objetivos en DXOMark se constata que la calidad óptica de los objetivos de focal fija supera sistemáticamente a los zoom. Igualmente, la apertura máxima suele ser menor en los zoom y variable en el rango de distancia focal. El balance calidad-versatilidad debe resolverse en función de los fines de la fotografía.



Objetivo zoom 28-105 mm.

	Global score	Sharpness	Distortion
Sigma 85 mm f:1.4 DG HSM	52	36	0.0
Carl Zeiss Distagon T Otus 1.4/55 mm	50	33	0.2
Sony FE 16-35 mm f:2.8 GM	42	34	0.5
Sony FE 70-200 mm f:2.8 GM	39	38	0.3

A la izquierda se muestran los dos mejores objetivos de focal fija y zoom analizados por DXOMark, junto con sus valores de puntuación global, nitidez y distorsión. Análisis completos en:

<https://www.dxomark.com/Lenses/>

Objetivos macro

Se denomina **factor de ampliación** de un objetivo a la relación entre los tamaños de un objeto y de su proyección sobre el sensor a la distancia mínima de enfoque. Los objetivos normales tienen factores de ampliación y distancias mínimas de enfoque que no permiten fotografiar objetos pequeños con detalle. Existen objetivos denominados **macro** que están diseñados para realizar **macrofotografía**, es decir, fotografía de objetos pequeños de forma que ocupen la mayor parte posible del sensor, consiguiendo así una gran **resolución**.

Derecha: imagen tomada con un objetivo Pentax macro de 120 mm y FA=1:1. La imagen original tiene 51 megapíxeles y la resolución teórica es de 0.0025 mm/píxel (415 píxeles por mm).



Focales extremas

Las distancias focales habituales están en el rango de 10 a 500 mm aproximadamente. Un objetivo con DF < 15 mm suele denominarse **gran angular**, mientras que los DF > 300 se llaman **teleobjetivos**. Lógicamente, la elección de la DF depende de los fines y de las condiciones de la foto. Un gran angular tiene un ángulo de toma más abierto, una mayor profundidad de campo y mayor luminosidad.

Derecha: imagen tomada del Templo de Diana (Mérida, España) con un gran angular con DF = 15 mm.

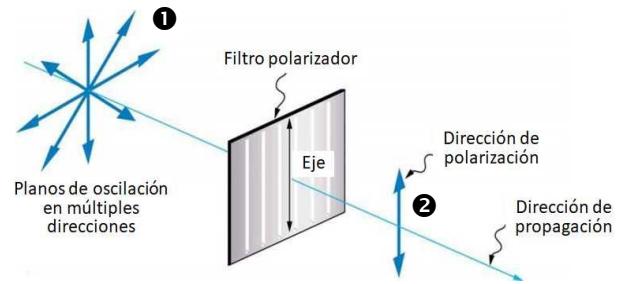


Polarización cruzada

La polarización cruzada es una técnica de iluminación que tiene como objetivo la reducción de brillos del objeto usando filtros polarizadores, uno en la luz y otro en la cámara.

Polarización de la luz

La luz es una radiación electromagnética cuyos campos eléctrico y magnético oscilan en múltiples direcciones perpendiculares al sentido de propagación ❶. Un filtro polarizador tiene el efecto de dejar pasar la luz exclusivamente en una determinada dirección de oscilación del campo eléctrico, absorbiendo el resto ❷.



La luz transmitida por el filtro se denomina **luz polarizada** y, lógicamente, tiene una intensidad menor que la incidente sobre el filtro ya que ha sido parcialmente bloqueada. En fotografía, la diferencia está alrededor de dos puntos de diafragma.

Esquema del procedimiento

Equipo fotográfico

- cámara fotográfica (Pentax 645Z con objetivo Pentax 120 mm)
- paneles LED (NanGuang bicolor con IRC > 95)
- trípode (la polarización cruzada reduce la luz ~ 4 pasos de f)
- láminas polarizadoras lineales (Polarization.com) ❶
- filtro polarizador circular para el objetivo ❷



Procedimiento

Se ilumina el objeto con luz polarizada (lámina polarizadora ❶ ante la fuente de luz) y se fotografía con una cámara provista, a su vez, del filtro polarizador ❷ delante del objetivo. Girando este último filtro se busca la posición que bloquea la luz reflejada especularmente (brillos de la pieza) para hacer la toma.

Resultados

A la izquierda se muestra un imagen tomada con dos puntos de iluminación donde se hace evidente la existencia de dos zonas de brillos intensos. A la derecha, el mismo objeto iluminado con la técnica de polarización cruzada. Debe destacarse que esta técnica cambia algo la saturación de los colores y el contraste. Estos efectos pueden ser corregidos mediante una calibración específica para la sesión usando, por ejemplo, una carta de color estándar y generando un perfil de color para la corrección.



CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida**.

(Universidad de Extremadura)

Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>

Correo: cmplab@unex.es



Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.



Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es

María Eugenia Polo, mepolo@unex.es

Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>

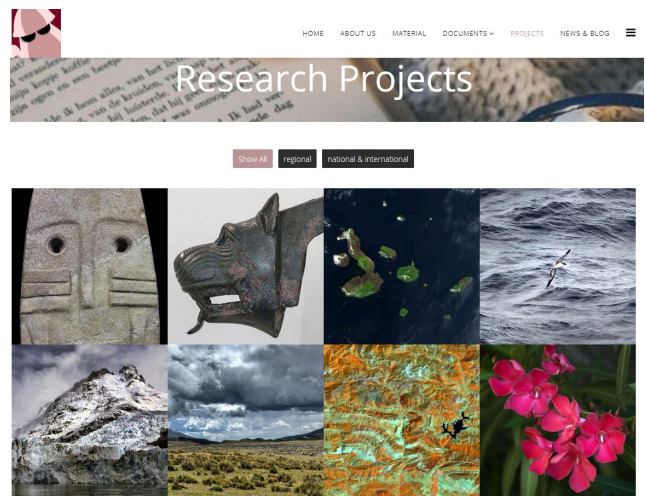


El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexo es la captura y procesado de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

Web del grupo Kraken

En la web del grupo se accede a diversa documentación como:

- El material usado en las investigaciones.
- Los artículos y comunicaciones a congresos publicados por los miembros del grupo.
- Resultados de la tutorización docente como trabajos fin de grado y máster y tesis doctorales.
- Proyectos de investigación realizados y en curso.
- Últimas noticias sobre las actividades del grupo.





Centro
Universitario
de Mérida

AJUSTE DE BLANCOS Y CALIBRACIÓN DEL COLOR

Ajuste de blancos y calibración del color

En este cuaderno se explican dos técnicas para mejorar el color en las fotografías destinadas especialmente a la construcción de modelos 3D. Existen otras más sofisticadas pero éstas son de fácil aplicación y suficientes en muchos casos.

CMPLab es un laboratorio ubicado en el Centro Universitario de Mérida, Universidad de Extremadura. Se formó a partir de un proyecto presentado a una convocatoria de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en el año 2016. El CMPLab y los grupos de investigación asociados disponen de material para la documentación 2D y 3D del patrimonio cultural, artístico y arqueológico.

<http://cmplab.unex.es>

Puntos de interés especial:

- La fidelidad al color depende tanto de la luz como del sensor de la cámara.
- La tonalidad general de la luz puede corregirse mediante el llamado ajuste de blancos, que cambia los valores globales de los componentes del color.
- Un ajuste más fino puede conseguirse creando un perfil de color, con el cual se corrigen tanto los sesgos de la luz como los del sensor de la cámara fotográfica en una sesión concreta.

Problemas con la luz

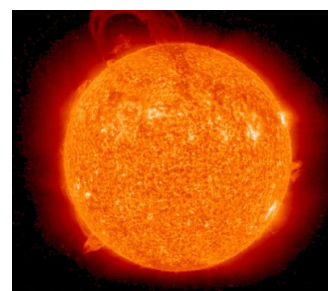
La percepción del color depende de varios factores entre los cuales destaca el tipo y características de la luz con la que el objeto está iluminado. No es lo mismo ni da los mismo resultados iluminar con una bombilla de incandescencia que con un flash o, en el caso de la luz natural, que sea a mediodía de un día despejado o por la tarde en uno nublado.

¿Qué cambia en estas situaciones? El principal factor es la intensidad de la luz en cada longitud de onda del espectro visible. Si iluminamos un cuadro con una bombilla de incandescencia, lo veremos con una tonalidad dominante amarillenta. Eso es el resultado de

que la luz es mayoritariamente de longitudes de onda largas, en la zona del rojo al amarillo, y contiene pocos azules, de longitud de onda más corta.

Según este esquema, la luz ideal sería aquella que tiene la misma intensidad en todas las longitudes de onda. En un flash, la luz se genera por excitación del gas xenón contenido en un tubo sellado y sometido a una descarga de alto voltaje. Esta luz contiene todas las longitudes de onda, con picos y “valles” moderados en algunas frecuencias. Es, por tanto, una luz blanca y muy adecuada como fuente de iluminación.

Según otra perspectiva, la luz ideal imitaría el espectro de



Imagén del Sol en la zona ultravioleta del espectro ([NASA](#))

emisión del Sol, con lo que habría unas longitudes de onda con mayor intensidad que otras, pero el efecto sería más “natural” (más próximo a nuestra percepción habitual).

En función de la opción elegida, usaremos la fuente de luz cuyo espectro de emisión sea más parecido al “ideal”. Además del flash, hay numerosas fuentes de luz utilizables en fotografía, desde tubos fluorescentes hasta LED.

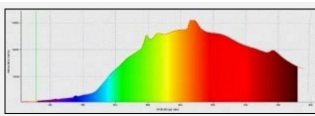
Problemas con las cámaras fotográficas

Los sensores de las cámaras son los elementos encargados de “traducir” la luz que incide sobre ellos a valores digitales proporcionales a la luminosidad. Estos valores se usarán para construir la imagen observada por la cámara. Los sensores no son sensibles al color por lo que cada elemento de los mismos se cubre con un filtro que sólo deja pasar la

luz en una zona concreta del espectro visible: del rojo, del verde y del azul. A partir de estos componentes y de su intensidad, el color se reconstruye de la forma más exacta posible. El problema es que los sensores no son igualmente sensibles a todas las frecuencias y la combinación posterior para reconstruir una gran gama tonal no es exacta:

dos imágenes tomadas con cámaras diferentes no serán iguales ni reflejarán con fidelidad absoluta los colores del objeto original. Este problema se combina con el anterior relativo a la luz, de forma que con un buen material fotográfico podemos, sin embargo, obtener imágenes distorsionadas desde el punto de vista de la fidelidad cromática.

Ensayos: fuente de luz y carta de color



Foco Pro VC-1000Q con lámpara halógena. El espectro de emisión muestra la pobreza de longitudes de onda cortas (azules).

Para mostrar las correcciones de color hemos usado como fuente de luz artificial un foco Walimex Pro VC-1000Q de 1000 W, que usa una lámpara halógena de cuarzo con una temperatura de color de 3200 K. El espectro tiene clara dominante de los colores cálidos. Se realizaron fotografías de una carta de colores X-Rite ColorChecker Passport en dos versiones: la carta de balance de blancos (de un color gris neutro homogéneo) y la carta de colores clásica (con 24

parches de colores diferentes). Posteriormente, se fotografian los objetos que se haya decidido incluir en la sesión y cuyo color debe ser corregido mediante balance de blancos o mediante perfil.

La cámara utilizada ha sido una Pentax 645Z de formato medio con un sensor CMOS de 51 millones de píxeles, 43.8 x 32.8 mm de tamaño y 14 bits de rango dinámico. Las imágenes se han tomado en formato DNG, que la cámara genera directamente.



Arriba: carta de gris; abajo: carta de colores X-Rite ColorChecker Passport.

Balance o ajuste de blancos

Se llama balance o ajuste de blancos a la operación de modificación de la imagen para eliminar sesgos de tonalidad.

La modificación se realiza sobre los valores de toda la imagen tomando como referencia una zona que debe ser gris neutro. Las imágenes de la derecha son la misma carta de gris fotografiada con la fuente de luz mencionada

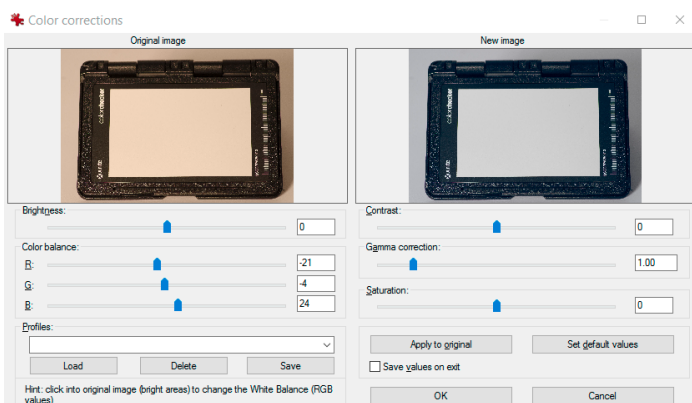
(arriba) y con un panel LED (abajo). Puede verse que esta última es bastante más “blanca” que la iluminada con luz halógena, que muestra una tonalidad general amarillenta.

Los valores RGB del parche gris deben ser iguales, por lo que las desviaciones nos dicen la corrección genérica que hay que aplicar a la imagen para llevarla a un punto neutro.



Las cartas de color incluyen parches de colores homogéneos y estables que sirven de patrón para crear perfiles que permiten mejorar la reproducción del color de dispositivos como cámaras fotográficas, pantallas, impresoras, escáneres...

Balance de blancos en Irfanview



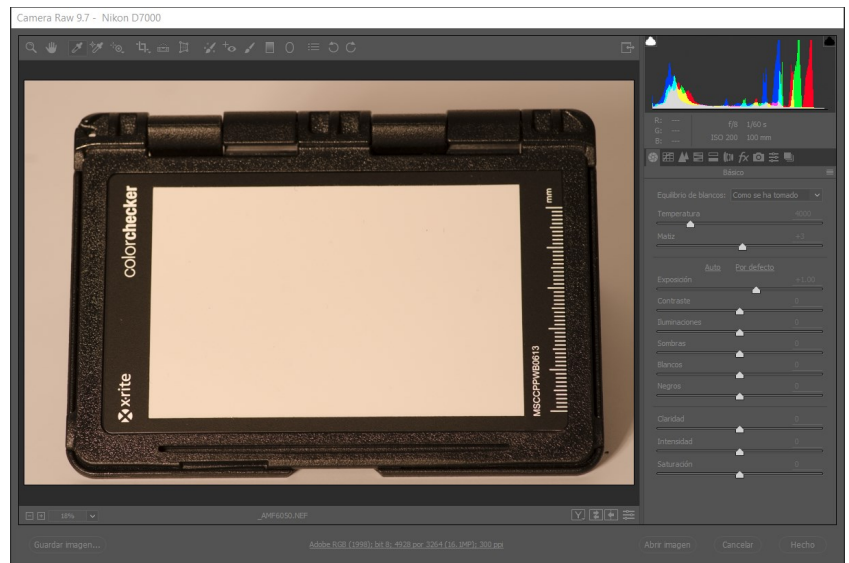
Irfanview es una aplicación gratuita que tiene utilidades para el tratamiento básico de imágenes. El ajuste de blancos se realiza de la forma siguiente: con *Image* → *Color corrections* se abre una ventana con dos copias de la imagen. Para ver la corrección se pulsa encima de cualquier punto de la zona gris de la imagen izquierda y el efecto se verá en la otra imagen. En la figura adjunta se ve el resultado: la imagen derecha ha perdido su tonalidad amarillenta. Los cambios en los valores RGB están en las escalas: -21 para el rojo (que era dominante), -4 para el verde y +24 para el azul (que se representaba insuficientemente). Con *Apply to original* y *OK* finalizamos. Si se desea modificar más imágenes tomadas con la misma luz basta con introducir los cambios RGB manualmente o en modo “batch” para tratar muchas imágenes en bloque.

Balance de blancos con Adobe Photoshop

En el caso de usar **Adobe Photoshop**, el balance de blancos se realiza cuando se lee una imagen en formato RAW, sea éste DNG o cualquier otro. El proceso es muy similar al anterior. La herramienta se llama *Equilibrio de blancos* y está en la barra superior de botones de la aplicación **Camera RAW**.

Al activarla y pulsar sobre un punto de la zona gris, la imagen se corrige automáticamente y en el panel derecho se indica la temperatura de color de la imagen original, en este caso 3000 K. Con imágenes no RAW se puede hacer el mismo proceso con el *Filtro de Camera Raw* (menú *Filtros*).

Carta de grises en módulo de procesamiento de imágenes RAW antes de hacer el balance de blancos.



La construcción del perfil de color de una cámara fotográfica

Los perfiles de color son la forma más adecuada de corregir tanto los problemas de tonalidad debidos a la luz como los debidos al sensor de la cámara. Como un perfil describe la forma de gestionar el color de una cámara ante una iluminación determinada, es necesario elaborar un perfil para cada combinación de cámara y fuente de luz.

Una vez construido el perfil, las imágenes se tratarán usándolo como “plantilla” de corrección para toda la sesión fotográfica. Lógicamente, un perfil va mucho más allá que la mera corrección por ajuste de blancos ya que controla la captura de colores diversos y no sólo la de un gris neutro.

A continuación se muestra el procedimiento usando la carta de color mencionada anteriormente con la iluminación con lámpara de tungsteno.

1. Fotografiar en formato DNG (o, en general, RAW) una carta de color con la cámara y luz que se usará en la sesión fotográfica.
2. Instalar y activar el programa de construcción de perfiles que acompaña a la carta (en el ejemplo, *Color Checker Passport*).
3. Arrastrar la imagen DNG al programa. Este reconocerá los parches de color y comparará los valores RGB captados por el sensor con los reales.
4. Construir el perfil de color y guardar. Con el

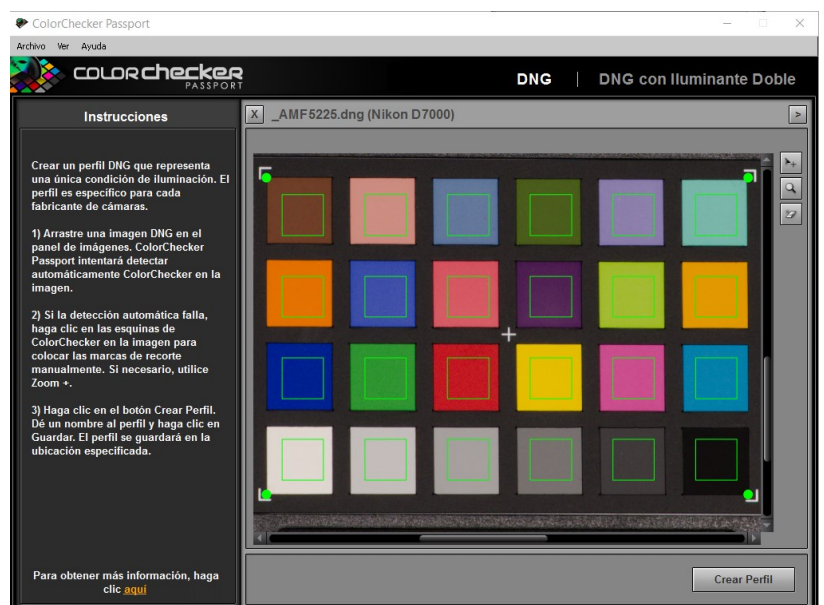
software de X-Rite, el perfil queda a disposición de Adobe Photoshop de forma automática.

5. Para todas las fotografías de dicha sesión se usará el perfil creado anteriormente y los colores serán corregidos automáticamente. Esta corrección se realiza en el módulo Adobe Camera RAW.

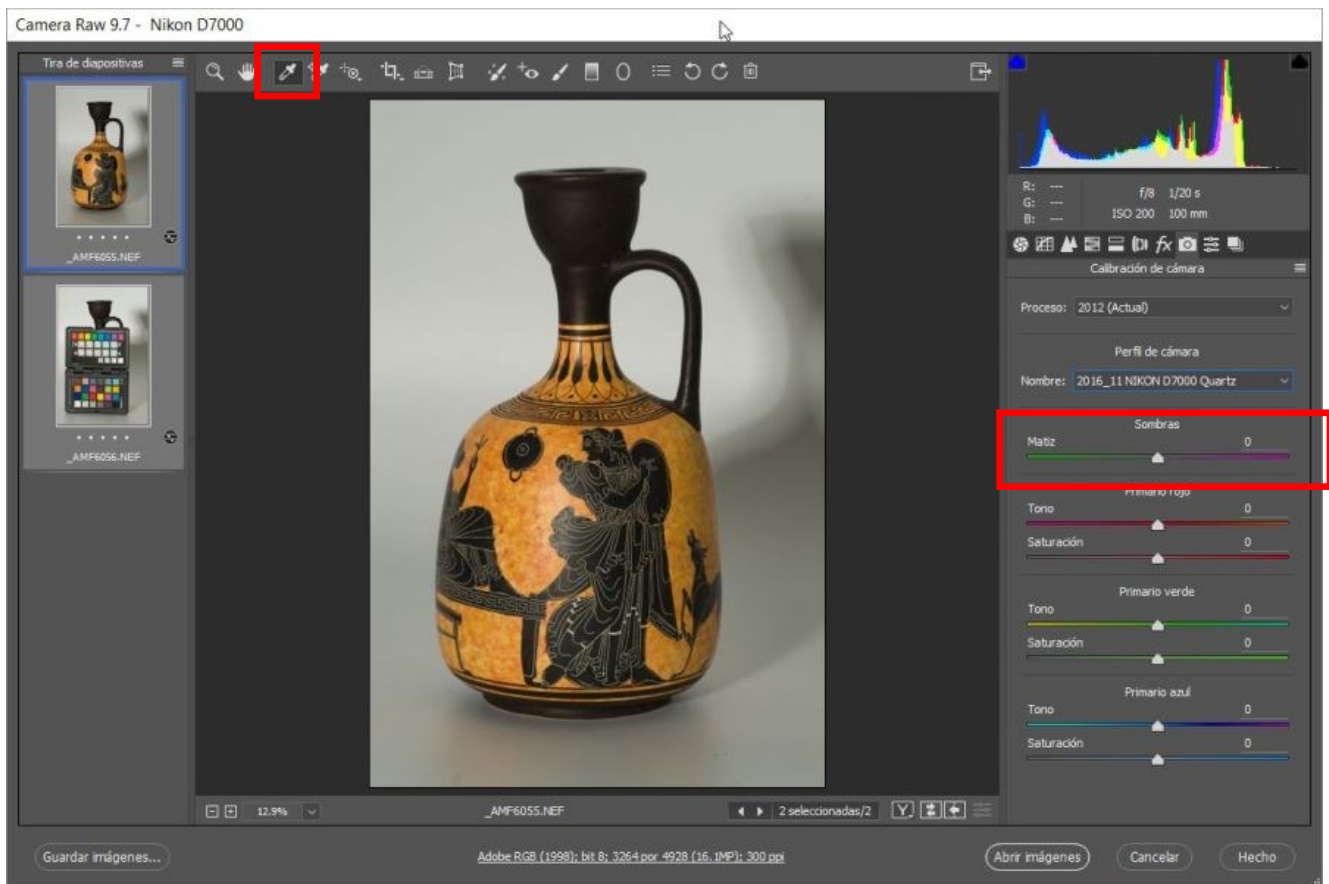
6. Tras la corrección, las imágenes deben guardarse en un formato

adecuado con un algoritmo de compresión sin pérdida, por ejemplo, TIF con compresión LZW.

Abajo: imagen de la carta de colores arrastrada al programa de construcción de perfiles de X-Rite. El reconocimiento de los parches de color es automático y el programa usa los valores medios RGB de cada parche en la zona central del mismo, marcada en la figura con cuadrado en verde.



Ejemplo de tratamiento



Carta de colores y cerámica en la aplicación Adobe Camera RAW. El balance de blancos se realiza con la herramienta que aparece en el cuadrado rojo, arriba a la izquierda, y la aplicación del perfil creado con la carta de color, en el desplegable señalado con el rectángulo rojo de la derecha.

CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida**.

(Universidad de Extremadura)
Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>
Correo: cmplab@unex.es



Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.

Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es
María Eugenia Polo, mepolo@unex.es
Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>



El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexos es la captura y procesamiento de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital





Centro
Universitario
de Mérida

SISTEMAS DE MODELADO 3D BASADO EN IMÁGENES

Sistemas de modelado 3D basado en imágenes

Este cuaderno está dedicado a los sistemas de modelado 3D basados en imágenes, conocidos por sus siglas en inglés IBM (*Image-Based Modelling*) que junto con los escáneres 3D que son sistemas basados en medida (*Range-Based Modelling*) permiten crear modelos 3D de objetos o escenas. Los sistemas IBM se basan en el proceso fotogramétrico, siendo la **fotogrametría** un conjunto de técnicas que permiten extraer propiedades métricas de un objeto a partir de imágenes tomadas al mismo.

¿Cómo funcionan los sistemas IBM?

Los sistemas IBM crean un modelo 3D de un objeto o escena a partir de un conjunto de imágenes digitales solapadas realizadas cubriendo todo el objeto a representar. Se extraen los elementos invariables de imágenes consecutivas y se resuelve la geometría del objeto de forma conjunta.

Estas imágenes se orientan automáticamente en un sistema de coordenadas arbitrario, usando una serie de algoritmos que determinan los parámetros de la cámara y generan una nube de puntos que posteriormente se malla y se le añade la textura.

La fuente de información básica es una fotografía, que

es una imagen plana de un objeto, y el principal problema a resolver es la identificación de puntos homólogos entre fotografías adyacentes.



Cámara fotográfica Pentax 645Z.

El proceso que siguen los sistemas de modelado basado en imágenes, en general, es:

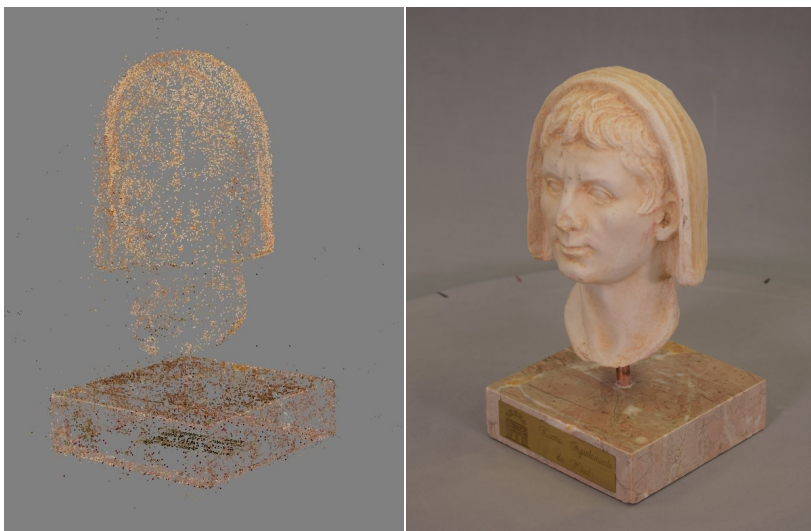
- Obtención de un conjunto

de fotografías digitales solapadas del objeto que se pretende modelar.

- Carga o subida de las fotografías al software o aplicación.
- Ejecución de algoritmos específicos para crear una **nube de puntos** que representa el objeto y calcula los parámetros y la posición de las cámaras.
- Triangulación de la nube de puntos para crear una **mall**.
- **Texturización** de la mall con las fotografías.
- **Corrección de errores** y exportación del modelo.

Consejos para la toma de fotos:

- Las fotografías se pueden tomar con cualquier cámara pero es recomendable usar media o alta resolución (10 Mpx o más).
- En general, no es necesario usar una cámara calibrada.
- Recomendable solape entre fotos consecutivas de un 60% como mínimo.
- Cuanto mayor número de fotos, mejor, aunque aumenta el tiempo de procesamiento y el tamaño del fichero.
- Evitar objetos transparentes, brillantes, especulares o en movimiento.
- Mejor en condiciones de luz controlada. En exterior, lo ideal es el cielo cubierto, sin proyección de sombras.
- Mejor tomar fotos en RAW, que conservan toda la información, y después convertir a otro formato.



Nube de puntos obtenida por IBM tras procesar 76 fotografías solapadas realizadas sobre el objeto mostrado en la imagen de la izquierda.

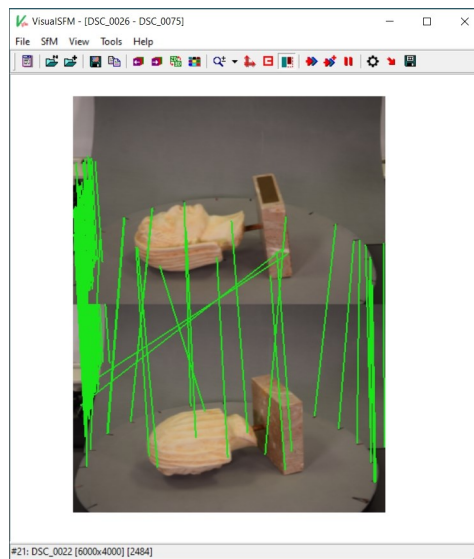
El objeto fue fotografiado, tanto en posición vertical como tumbado, colocado sobre una plataforma giratoria que permitía hacer una foto con una cadencia de 15°.

Algoritmos

Uno de los algoritmos más usados en los sistemas IBM es el llamado **Structure from Motion (SfM)** que produce modelos volumétricos a partir de fotografías. Este método genera un modelo 3D esquemático de un objeto o escena de forma automática a partir de un conjunto de imágenes bidimensionales solapadas obtenidas por la cámara. Para ello detecta los puntos característicos de cada imagen (buscando similitudes geométricas o detalles específicos) y

viendo el movimiento de estos puntos a lo largo de las imágenes consecutivas. Así se estima la localización de estos puntos característicos en un marco local de coordenadas y se crea una **nube dispersa** de puntos.

El algoritmo **Multi-View Stereo (MVS)** calcula una estimación densa de la geometría de la escena operando en valores de pixel, no de puntos característicos, lo que permite crear una malla detallada o **nube densa de puntos**.



Identificación de elementos comunes y puntos característicos en la aplicación IBM gratuita VisualSfM.

Software

Existen diversas aplicaciones, tanto comerciales como gratuitas, que permiten de forma automatizada la generación de modelos 3D a partir de un conjunto de fotografías solapadas. En general, las aplicaciones IBM que se ejecutan en el ordenador del usuario tienen requerimientos de hardware importantes en cuanto a procesador, RAM y tarjeta gráfica, sobre todo si se trabaja con un gran número de fotografías de alta resolución.

Las **aplicaciones basadas en web** no tienen este problema ya que los datos no se procesan en local. En estos casos, el sistema usa servidores remotos, a los cuales se envían los datos. Tras el procesamiento, los resultados son devueltos al usuario. Cuando se trabaja en modo local, algunas aplicaciones tienen sistemas de aceleración basados en el uso de GPU o en cálculo distribuido.

Muestra de aplicaciones IBM:

[Agisoft Metashape](#)

[PhotoModeler](#)

[Context Capture](#)

[3DF Zephyr](#)

[Reality Capture](#)

[Autodesk Recap Photo](#)

[Regard3D](#)

[VisualSfM](#)

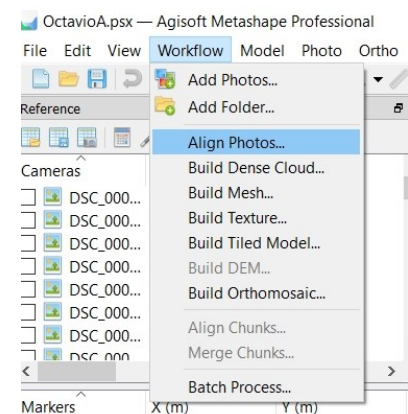
Al ser esta una técnica muy automatizada, es en la fase de toma de datos donde el usuario tiene control sobre el sistema, por lo que factores como el número de fotos, la textura del objeto, la iluminación o la resolución de la cámara serán claves en la calidad del resultado final. Por este motivo, merece la pena dedicar un esfuerzo importante a la planificación y toma de las fotografías en condiciones óptimas.

Agisoft Metashape

Una de las aplicaciones más populares para el modelado 3D de todo tipo de objetos es Agisoft Metashape, antes conocido como Agisoft PhotoScan. Es un software comercial de escritorio con dos versiones, estándar y profesional, que permite procesar imágenes para obtener modelos 3D texturizados.

El flujo de trabajo en *Agisoft Metashape* comienza con la **carga de las fotografías** realizadas sobre el objeto que se quiere modelar. El siguiente paso es la

alineación de imágenes, donde se busca la correspondencia de puntos homólogos aplicando el algoritmo SfM para conseguir las posiciones de las cámaras y la orientación de cada fotografía en el momento de la toma, creando una nube de puntos dispersa. En las últimas versiones es posible crear la malla directamente desde la nube de puntos dispersa sin crear una nube densa. Por último, sobre la **malla** se proyecta la **textura** obtenida de las imágenes fotográficas.



Flujo de trabajo con Agisoft Metashape.

Más consejos para la toma de fotos

Como se dijo antes, la fase de recopilación de datos es donde el usuario tiene control sobre el sistema, por lo que ciertas pautas de trabajo son de gran importancia si buscamos un resultado de calidad.

- Si las dimensiones de la pieza lo permiten, es aconsejable colocarla en una plataforma giratoria y fijar la cámara en un trípode para evitar movimientos no deseados. El objeto se gira a intervalos regulares, por ejemplo 15°, y se toma una imagen en cada posición hasta que el objeto a modelar esté completamente cubierto. También podemos mantener el objeto fijo y mover la cámara alrededor de él con las mismas consideraciones.
- Para la iluminación, recomendamos el uso de paneles LED con difusores y un fondo blanco, gris o negro. La luz se mide con un fotómetro independiente de la cámara y los valores de exposición se fijan para toda la sesión. Además, aunque las cámaras actuales recogen el color con una fidelidad razonable, los métodos de calibración del color deben aplicarse para que la representación del color sea fiel al original (consultar el cuaderno correspondiente).



- En caso de modelar objetos en exterior, es preferible hacer las fotografías en días nublados con luz difusa, para que no existan sombras sobre el objeto. Si esto no es posible, se pueden elegir las primeras o últimas horas del día con una iluminación más uniforme.
- Se debe intentar que los objetos que se muestren alrededor sean los mínimos posibles para que el tiempo de procesamiento y depuración de los modelos sea también mínimo.

Resultados



Modelo 3D de una réplica de cerámica romana de sigillata negra. Mide 10 cm de diámetro por 14 cm de altura. Fotografiado con cámara Nikon D7000 con objetivo Tokina macro de 100 mm y procesado con Agisoft Photoscan Standard. Acceder al modelo en <https://skfb.ly/VrYG>



Modelo 3D de una réplica de un medallón romano de 12 cm de diámetro. Fotografiado con cámara Nikon D7000 con objetivo Tokina macro de 100 mm y procesado con Agisoft Photoscan Standard. Acceder al modelo en <https://skfb.ly/TzGI>

CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida**.

(Universidad de Extremadura)
Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>
Correo: cmplab@unex.es



Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es
María Eugenia Polo, mepolo@unex.es
Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>

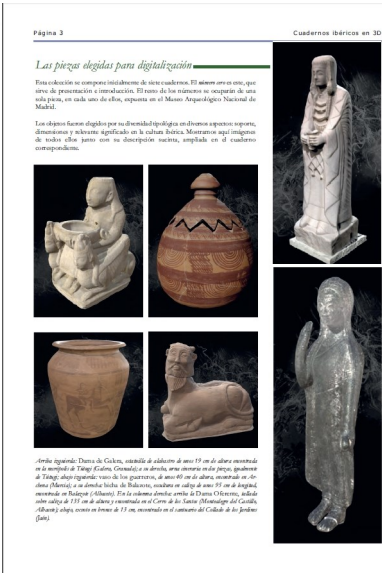


El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexos es la captura y procesado de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.



Otros cuadernos



En colaboración con el Instituto de Arqueología de Mérida (Centro Superior de Investigaciones Científicas) y el Museo Arqueológico Nacional (sección de Protohistoria) hemos publicado una colección de cuadernos bajo el nombre de **Cuadernos Ibéricos en 3D**. Esta publicación, en español e inglés y compuesta por siete cuadernos (el primero es la introducción), muestra el proceso de modelado de seis piezas expuestas en la sección de Protohistoria del Museo Arqueológico Nacional.

Las piezas modeladas son:

- La Dama de Galera
- La bicha de Balazote
- La Dama Oferente
- El Vaso de los Guerreros
- Un exvoto de bronce
- Una urna cineraria de dos piezas



Dehesa > Investigación > Grupos de Investigación > Grupo de Investigación Kraken > KRAKEN - Informes / Documentos de trabajo

KRAKEN - Informes / Documentos de trabajo

Los cuadernos se pueden descargar en [inglés](#) y [español](#) desde el repositorio institucional Dehesa de la Universidad de Extremadura donde nuestro grupo Kraken dispone un espacio para almacenar y descargar [otras publicaciones](#).



Centro
Universitario
de Mérida



La técnica del focus stacking

Se llama *focus stacking* (“apilado de enfoque” en español, aunque se suele usar la expresión en inglés) a una técnica fotográfica que resuelve el problema de la escasa profundidad de campo de las imágenes tomadas mediante macrofotografía. La técnica consiste en fusionar imágenes del objeto tomadas secuencialmente de forma que en cada una de ellas hay una zona enfocada diferente. La fusión conserva sólo la zona enfocada de cada fotografía proporcionando una imagen final completamente nítida de todo el objeto.

Decisiones

Si la toma del objeto es relativamente plana, poco profunda, la macrofotografía puede dar buenos resultados sin necesidad de acudir al focus stacking.

Si el objeto es profundo, hay que decidir entre cerrar el diafragma al máximo (lo que conlleva pérdida de calidad) o usar esta técnica.

El focus stacking puede realizarse cambiando la distancia de enfoque o moviendo la cámara.

Puntos de interés especial:

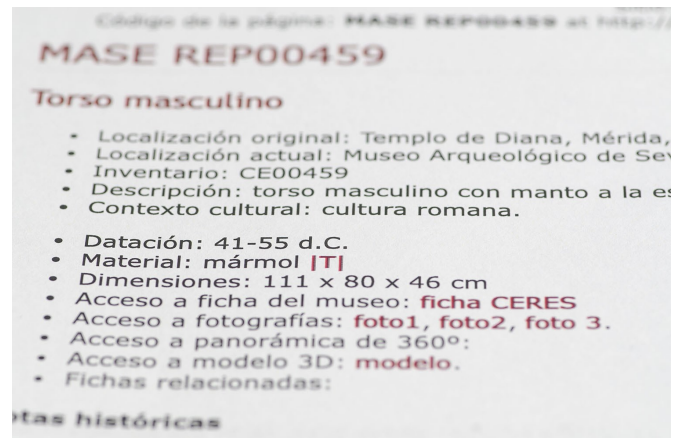
- Los objetos pequeños deben fotografiarse desde distancias muy cortas.
- En estos casos, la profundidad de campo es muy limitada, de pocos mm o décimas de mm.
- Una solución es sacar fotos enfocando diferentes partes del objeto para, finalmente, fusionarlas (“apilarlas”) en una sola imagen.
- Esta técnica se llama “focus stacking” y puede “apilar” desde tres o cuatro imágenes hasta docenas, según el objeto.

Fotografía y profundidad de campo

Se llama **profundidad de campo** o PdC (*depth of field*, DoF en inglés) a la zona comprendida entre la distancia más cercana y la más lejana a la cámara que queda nítida en una imagen. Los factores que influyen en la PdC son: la **distancia focal** del objetivo, el valor de **apertura del diafragma** y la **distancia de enfoque**.

Las relaciones entre dichos parámetros y la profundidad de campo son las siguientes: la PdC aumenta con una menor distancia focal, con un diafragma más cerrado y con una distancia de enfoque mayor.

La imagen superior se tomó con un diafragma f:8, un obje-



Abajo: imagen donde se observa que la zona enfocada está limitada a unas pocas líneas del texto.

tivo de 100 mm y una distancia de enfoque de 85 cm. La PdC es de 2.04 cm, distribuidos entre los 83.99 y los 86.03 cm de distancia al plano focal de la cámara.

Obviamente, dicha foto no sería válida como documento ya que el desenfoque afecta a las zonas más próximas y más lejanas.

El problema en la macrofotografía

Se llama **macrofotografía** a una especialidad de la fotografía donde la relación de escala entre el objeto y su proyección en el sensor es de 1:1 o menor. La moneda de la derecha es un ejemplo típico. En este caso no hay problema con la profundidad de campo porque el objeto está en un único plano perpendicular al eje óptico de la toma. Sin embargo, lo habitual es lo contrario ya que la PdC en macrofotografía es muy pequeña, (ver página siguiente). Por ejemplo, con un objetivo de 100 mm, un diafragma f:8 y una distancia al objeto de 25 cm, la PdC es de sólo 1.2 mm (de 24.94 a 25.06 cm). Lo que esté fuera de ese intervalo quedará fuera de foco.



Fundamentos

En la imagen 1 (derecha, arriba) sólo aparece nítida la parte más cercana de la pieza mientras que la parte trasera está claramente desenfocada. El rectángulo rojo incluye esa parte enfocada.

A continuación tomamos dos fotos más (2 y 3), en las que hemos desplazado el punto de enfoque a la parte central y trasera respectivamente.

En este momento se dispone de tres fotos del mismo objeto donde la zona enfocada es diferente pero, entre todas, cubren la totalidad de la pieza.

El paso siguiente es la fusión de las tres imágenes donde, de cada una de ellas, se conserva exclusivamente la parte enfocada. El proceso de fusión se realiza mediante software específico y suele ser automático.

El resultado aparece en la parte inferior de la página (4), donde el objeto está nítido en su totalidad.

Los mejores resultados se obtienen con diafragmas medios (el valor óptimo suele estar entre $f:8$ y $f:11$) y tomando las fotos con absoluta estabilidad mediante un trípode; lógicamente, la iluminación debe ser constante.

Software

Entre las aplicaciones que pueden realizar automáticamente la fusión de imágenes para el *focus stacking* destacan las siguientes:

- ◆ [Adobe Photoshop](#) (comercial).
- ◆ [Helicon Focus](#) (comercial).
- ◆ [Zerene Stacker](#) (comercial).

La disponibilidad de software gratuito es más limitada:

- ◆ [Picolay](#) (gratuito, uso no comercial).
- ◆ [Hugin](#) (código abierto, [ver instrucciones](#)).

Los ejemplos que se muestran en este cuaderno están realizados con Adobe Photoshop. Helicon Focus puede ser utilizado con [Helicon Remote](#) para el control remoto de la cámara (sólo Canon o Nikon), la toma automatizada de las imágenes y el procesamiento posterior de las mismas.



4



Con la técnica más simple, la cámara está fija e inmóvil en un trípode o soporte y las fotos se toman variando ligeramente el punto de enfoque.

La otra opción es mantener fijo el enfoque e ir acercando la cámara al objeto sobre un carril manual o motorizado.

Ambos métodos pueden hacerse manualmente o automatizarse con hardware y software específicos.

El resultado de la fusión selectiva de las tres fotografías tomadas con puntos de enfoque secuenciales se puede ver [aquí](#).
(Ref. MAN 28571)

Estimación manual de las imágenes necesarias

Para la realización del focus stacking se necesita conocer cuál es la profundidad de campo de las imágenes que vamos a tomar. Si realizamos este proceso manualmente, serán de utilidad algunas aplicaciones que nos calculan dicho parámetro; como, por ejemplo, la [calculadora de PhotoPills](#) (derecha).

Para obtener los valores basta con introducir los datos requeridos: modelo de cámara (se pide por el tamaño del sensor), distancia focal del objetivo, valor de diafragma y distancia cámara-objeto.

En el ejemplo mostrado, la profundidad de campo es de 0.52 cm, lo cual nos orienta para controlar el desplazamiento del enfoque o de la cámara. Si el objeto tiene 5 cm de profundidad, necesitaremos al menos una docena de imágenes, ya que el enfoque de fotos consecutivas debe solaparse parcialmente.

Cambiando parámetros puede verse como cambian los valores con el diafragma, distancia al sujeto, etc. Cerrar el diafragma es la opción más obvia para aumentar la profundidad de campo pero debemos estar atentos al deterioro de la nitidez que conllevan los valores extremos, tanto abiertos como cerrados.

Cámara	Pentax 645D, 645Z
Distancia focal	120 mm
Apertura	f/11
Distancia del sujeto	100 centímetros
Teleconvertidor	--

Distancia hiperfocal	33772.37 cm
Límite cercano hiperfocal	16886.19 cm
PdC límite cercano	99.74 cm
PdC límite lejano	100.26 cm
Profundidad de campo	0.52 cm
PdC delante	0.26 cm (49.87%)
PdC detrás	0.26 cm (50.13%)

Ejemplo de cálculo de profundidad de campo.

Métodos

La toma de imágenes puede hacer de dos formas. Ambas mantienen fijo el objeto, la iluminación y los parámetros de la cámara (diafragma y exposición); también en ambas, el enfoque debe estar en modo manual.

Con el primer método, la cámara se mantiene fija en un trípode o soporte. Se comienza enfocando manualmente la parte más próxima del objeto y se toma la primera foto; a continuación, enfocamos un poco más atrás (según aconsejen los cálculos de profundidad de campo) y se toma la segunda foto. El proceso sigue hasta cubrir el objeto en toda su profundidad, de forma que la última foto enfoca la parte más lejana.

El segundo método supone fijar la cámara sobre un raíl que puede moverla hacia el objeto. Se coloca la cámara en una posición retrasada de raíl, se enfoca la parte más cercana del objeto y se toma la primera foto. Para tomar la segunda no se cambia el enfoque sino que se mueve la cámara hacia adelante con lo que el punto de enfoque se desplaza igualmente sobre el objeto. El proceso sigue hasta cubrir la profundidad de la pieza. En este caso, lógicamente, la longitud del raíl debe ser, como mínimo, igual a la profundidad que debe cubrirse.

Un raíl de este tipo suele medir entre 20 y 30 cm y tiene mandos para moverlo sobre las guías con precisión milimétrica. Si se necesita más resolución, es necesario acudir a raíles motorizados que pueden controlarse por software como Helicon Remote, con desplazamientos programables de centésimas de mm.

Cámara de formato medio sobre un carril motorizado de desplazamiento y disparo programables. La moneda está fija a una base rotatoria también motorizada.



Ejemplo de imagen generada mediante focus stacking (Ref. MAN 28558) que se puede consultar [aquí](#).

CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida**.

(Universidad de Extremadura)

Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>

Correo: cmplab@unex.es



Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es
María Eugenia Polo, mepolo@unex.es
Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>



El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexo es la captura y procesado de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.



Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital



Unión Europea

Otros cuadernos de la serie: escáner 3D

Un **escáner 3D** es un dispositivo que analiza un objeto para obtener datos sobre su forma y geometría. Se digitalizan objetos para tenerlos en forma virtual y acceder a más información.

Existen muchos tipos de escáneres atendiendo a diferentes criterios como el alcance, la tecnología usada para medir, el contacto con el objeto.

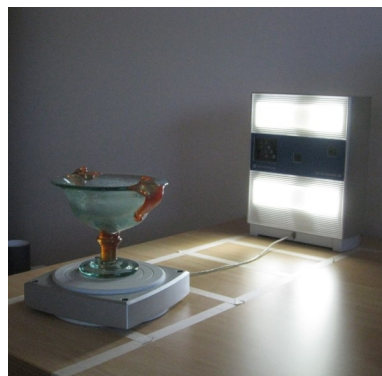
Para la elaboración de estos cuadernos se han usado dos tipos de escáner:

Escáner de luz estructurada (foto derecha). Es un escáner portátil, sin contacto con el objeto que proyecta un patrón de luz estructura sobre el objeto a medir.

Escáner de escritorio de bajo coste (foto abajo). El fundamento de este escáner se basa en una tecnología original llamada triangulación láser multibanda (*Multi-Stripe Laser Triangulation*, MLT) al proyectar una banda-láser múltiple gracias a dos matrices gemelas de cuatro láseres (rojo, 650 nm) y a registrar la posición de los puntos con una cámara CCD.



Escáner 3D de luz estructurada Go!Scan. En la figura superior, se observan tres cámaras (enmarcadas cada una por un conjunto de 4 LEDs), y el emisor de la luz estructurada (en el centro). Dos cámaras son para medir la deformación del patrón sobre el objeto (cámara superior e inferior derecha de la figura) y la tercera para capturar la textura (izquierda). El gatillo azul, debajo de la cámara superior, permite el escaneo al pulsarlo.





¿Qué es la fotografía rollout?

La fotografía periférica o *rollout* es una técnica cuyo objetivo es “desenrollar” la superficie de objetos tridimensionales como cuencos, jarras o botellas para presentarlos en una imagen bidimensional de forma que su decoración pueda ser vista como un continuo. La técnica es equivalente a las proyecciones cilíndricas en cartografía, como la Mercator, donde los elementos geográficos se proyectan sobre un cilindro tangente al Ecuador de la Tierra.

Antecedentes

- La fotografía rollout en arqueología se desarrolló a mediados del siglo XX y se consolidó en la década de 1970 cuando Justin Kerr realizó una amplia serie de cientos de rollouts de vasos mayas, hoy visibles en <http://www.mayavase.com/>
- Su técnica, basada en la fotografía analógica, era muy compleja por lo que su uso no se generalizó. Hoy, la técnica se ha simplificado notablemente con la posibilidad de procesamiento digital.

Proceso

El objeto se coloca bien centrado sobre una plataforma giratoria de forma que pueda rotar sobre su eje central.

La cámara se coloca sobre un trípode asegurando que su eje óptico es perpendicular al eje de rotación del objeto.

Se utiliza una iluminación difusa que sea homogénea al menos en la zona central del objeto. Si es necesario por la existencia de brillos, se utiliza iluminación polarizada cruzada.

La calibración del color se asegura con una toma inicial que incluye una carta de color.

Se realiza una serie de fotografías rotando el objeto a inter-

Abajo: rollout en los tiempos analógicos; imagen de [History of the Invention of Rollout Photography](#).



valos regulares de forma que cada una de ellas recoja fielmente la parte central del objeto y se solape con las tomas anterior y posterior.

Las fotografías se fusionan en una sola imagen mediante el perfecto alineamiento de las tomas individuales apoyado en las zonas de solapamiento.

El Vaso de los Guerreros

Los objetos idóneos para aplicar esta técnica son los cilíndricos ya que no existe distorsión en la representación bidimensional. Uno de los objetos usados en los proyectos de documentación arqueológica es el “Vaso de los Guerreros”, expuesto en el Museo Arqueológico Nacional de España con el número de catálogo 1918/69/1.

Es un vaso de la cultura ibera de 41 cm de altura y 36 cm de diámetro máximo procedente de Archena (Murcia) y datado en el siglo III a.C. Su decoración pintada muestra escenas de una batalla, con soldados a pie, jinetes y animales (perro o lobo, jabalí). Su forma implica una deformación moderada en la proyección.



Vaso maya del periodo clásico tardío (600-900 d.C.)

Toma fotográfica

Las fotografías se toman rotando el vaso a incrementos prefijados. En este caso, el intervalo ha sido de 15°, con un total de 24 imágenes. La forma del objeto condiciona el número de imágenes a tomar y, por tanto, el intervalo angular.

Tras realizar la toma, el conjunto de fotografías se procesa aplicando el ajuste de blancos y el perfil de color de la sesión (ver cuaderno de calibración del color).

Transformadas las imágenes a formato TIF, se procede a recortarlas de forma que se conserve la

parte central (rectángulo amarillo en la figura) y se asegure un solape suficiente con las fotos anterior y posterior. Todos los recortes deben ser del mismo tamaño.

A continuación, el conjunto de las imágenes recortadas se fusiona con software fotográfico para conseguir una única imagen. Las zonas solapadas permiten dicha fusión y si la iluminación ha sido homogénea y difusa, las uniones entre fotos no serán visibles.

Si la deformación por la forma del objeto no es excesiva, será corregidas por el software en la fusión.



Rotación



Software

La fusión de las imágenes puede realizarse con cualquier aplicación fotográfica que pueda construir panorámicas; entre ellas destacan:

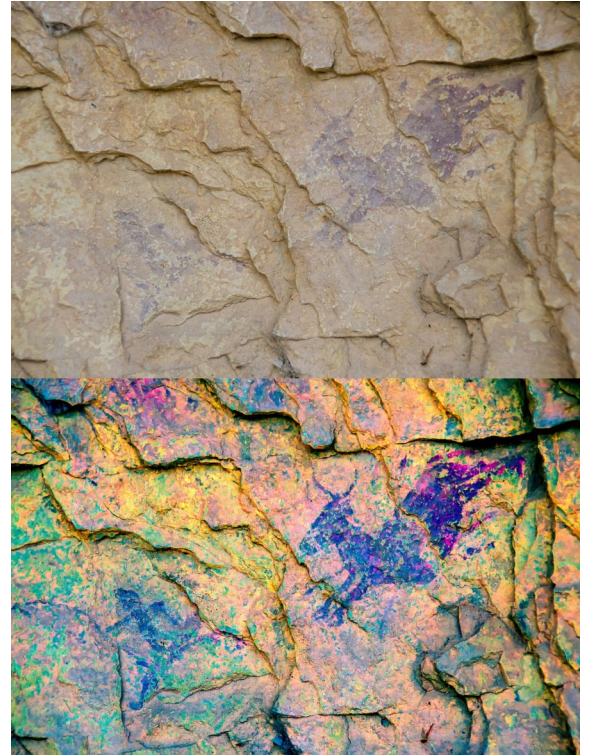
- ◆ Adobe Photoshop (comercial).
- ◆ [ICE Image Composite Editor](#) (gratuito, recomendado).
- ◆ [PTGui](#) (comercial).
- ◆ [Hugin](#) (código abierto, gratuito).
- ◆ [Panorama Factory](#) (comercial).



Aplicando filtros a la imagen

El rollout del Vaso de los Guerreros se muestra en dos versiones: la de color natural y otra procesada. Este procesamiento no es necesario para realizar la fotografía rollout pero puede ser utilizado para destacar los trazos poco visibles, completando la información del color natural.

Para la realización de la imagen mencionada, se ha utilizado [DStretch](#), un complemento para [ImageJ](#), una aplicación de proceso de imágenes de dominio público desarrollada por el National Institutes of Health (EE.UU.). DStretch fue desarrollada originalmente para el procesamiento de fotos de pinturas prehistóricas de cuevas y abrigos rocosos mediante transformaciones diversas del espacio de color de las imágenes. Lógicamente, su uso no se limita al previsto originalmente y lo hemos utilizado para realzar la decoración del Vaso de los Guerreros.



Ejemplo de procesamiento con DStretch.

Izquierda: imagen del Vaso de los Guerreros en color natural y procesada con DStretch, algoritmo LDS, una modificación de espacio de color LAB (ver detalles [aquí](#)).

Otros rollouts (color natural)



CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida.**

(Universidad de Extremadura)

Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>

Correo: cmplab@unex.es



Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es

María Eugenia Polo, mepolo@unex.es

Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>



El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexos es la captura y procesado de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.



Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital



Unión Europea

Bibliografía básica:

- Ángel M. Felicísimo. 2011. Vase rollout photography using digital reflex cameras. *Technical Briefs in Historical Archaeology*, 6, (2011), 28–32.
- Felicísimo, A. M.; Polo, M. E.; Durán Domínguez, G.; Tortosa, T.; Rodero, A. (2018). Rollout archaeological photography for the graphic documentation of cultural heritage. *Proceedings of the 23rd International Conference on Cultural Heritage and New Technologies 2018*, Vienna (Austria).
- Jon Harman. 2015. Using DStretch for rock art recording. *INORA - International Newsletter on Rock Art*, 72 (2015): 24-30.
- Justin Kerr. 2007. A short history of rollout photography. The Kerr collections, Foundation for the Advancement of Mesoamerican Studies, Inc. <http://www.famsi.org/research/kerr/rollout.html>.

Más información sobre el uso del rollout o fotografía periférica y de la aplicación del filtro DStretch puede consultarse en la [comunicación](#) presentada al *23rd International Conference on Cultural Heritage and New Technologies* en 2018 en Viena (Austria).

El resultado de aplicar el filtro DStretch al Vaso de los Guerreros se puede visualizar en [Sketchfab](#).





Difundir los modelos y las fotografías

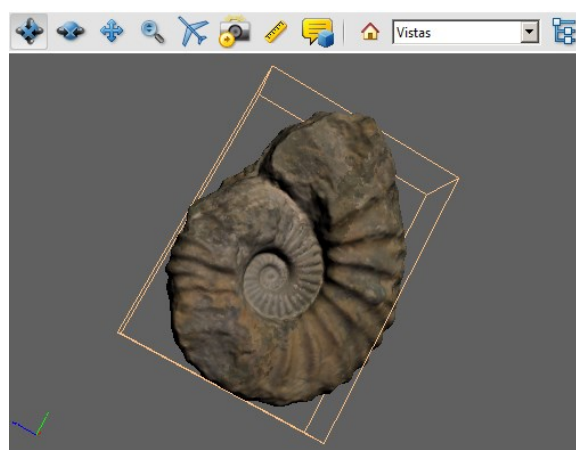
A lo largo de estos cuadernos hemos visto cómo generar modelos 3D mediante escáneres o con fotografía digital, con los sistemas de modelado basado en imágenes. También se ha realizado fotografía de alta resolución con calibración de color y técnicas específicas como el “focus stacking” o la fotografía periférica o “rollout”. Procede ahora difundir la información generada a través de internet en plataformas específicas para ello.

Incrustar un modelo 3D en un fichero PDF

En esta propuesta, la condición para incrustar modelos 3D en documentos PDF es que debe usarse el formato Universal 3D (U3D). El problema es más simple cuando se trata de objetos sin textura (sólo geometría) pero la incorporación de texturas captadas con las cámaras fotográficas no funciona en todas las circunstancias. El proceso, una vez que tenemos nuestro modelo 3D terminado, puede ser el siguiente:

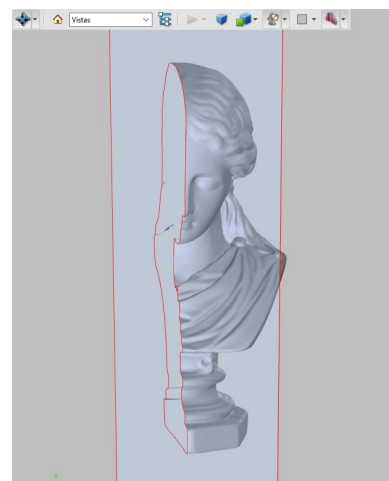
- Exportación del modelo al formato U3D.
- Crear una página base con un procesador de textos con el formato deseado, incluyendo los textos y reservando el espacio necesario para la ventana donde se verá el objeto 3D. Se guarda como PDF.
- Abrir este PDF con Adobe Acrobat Pro.
- En *Ver — Herramientas — Objetos interactivos — Agregar 3D*, se define un rectángulo en la página con el tamaño deseado para la ventana 3D.
- Se elige el archivo U3D a insertar cuando aparezca la ventana de carga y se guarda el PDF.

Un ejemplo de PDF interactivo se puede consultar [aquí](#).



Modelo 3D de un ammonites escaneado con el escáner NextEngine e incrustado en un fichero PDF.

Cuando clicamos sobre el modelo 3D incrustado en el PDF, se activa y aparecen una serie de herramientas que posibilitan girar el objeto, hacer zoom, medir longitudes y secciones, hacer comentarios o cambiar la luces y el color del fondo.



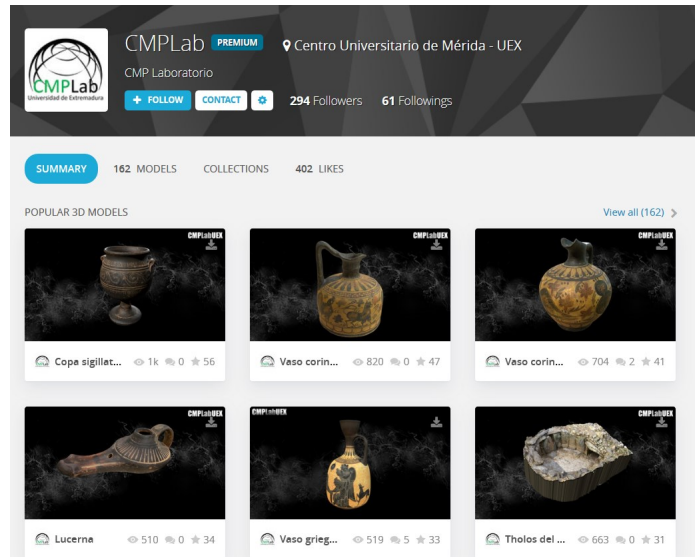
Sketchfab

Sketchfab, fundada en el año 2012 en Francia, es un sitio web usado para visualizar y compartir contenidos 3D *on line*. Los usuarios de esta web crean su propio perfil donde suben sus creaciones, que pueden ser descargadas por otros usuarios. Incluso algunos de los modelos subidos son susceptibles de ser impresos en 3D. Multitud de museos, empresas del sector del modelado y organizaciones exponen, y comparten, sus trabajos virtuales dentro de la filosofía

de red social. Ciertas aplicaciones, como Agisoft Metashape, permiten subir directamente el modelo creado a esta web.

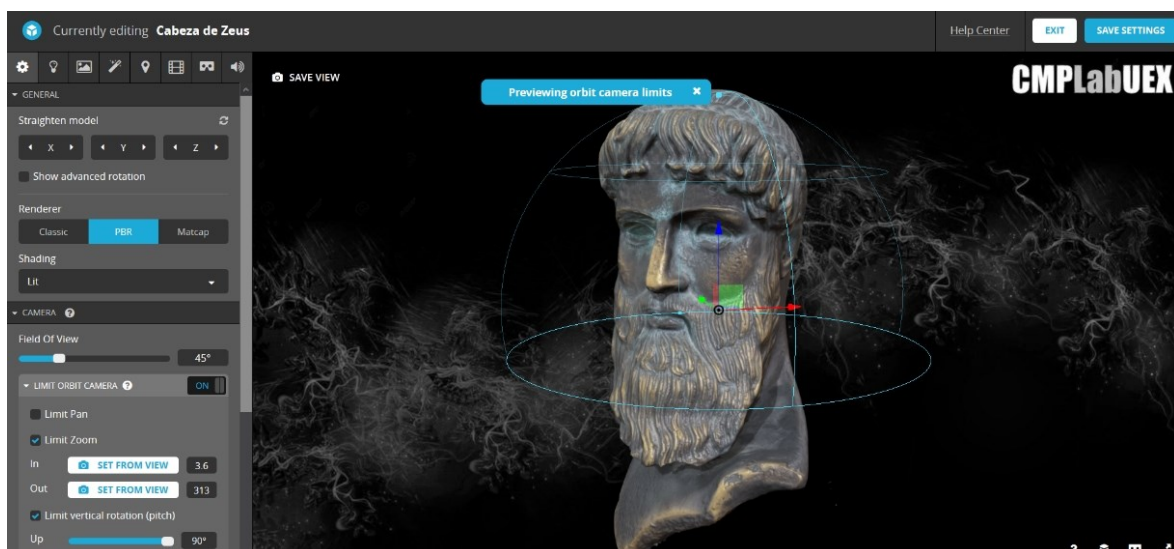
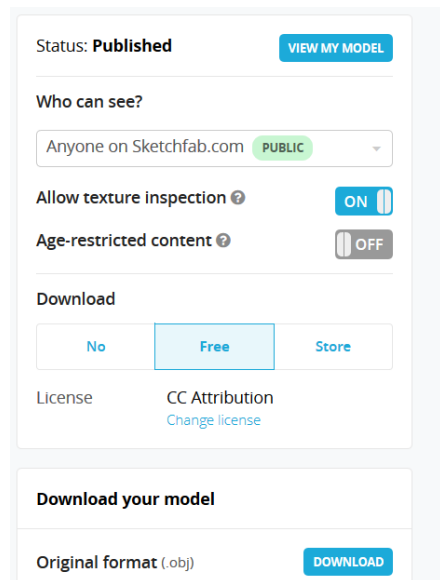
Son muchas las instituciones museísticas que suben modelos de sus piezas más icónicas a esta web (ver *Programa de modelado 3D en museos* en cuaderno de *Escaneo 3D*).

Nuestro grupo de investigación Kraken publica los modelos 3D realizados en <https://sketchfab.com/secad>



Subida de modelos

- Una vez dados de alta en la plataforma y con nuestro modelo 3D en un formato compatible (OBJ, DAE, GLTF y STL entre otros) en UPLOAD, se sube el modelo comprimido.
- Tras la carga y procesamiento del modelo es el momento de completar los metadatos rellenando campos como título, descripción del modelo, tema y etiquetas para categorizarlo.
- Es posible dejar nuestro modelo visible y descargable (o no) según licencias Creative Commons.
- Los ajustes del modelo 3D refieren a la forma de rotación del objeto, juegos de luces y sombras, inclusión de fondo, filtros de postprocesado, posibilidad de realizar anotaciones, incluso de añadir sonido, entre otras opciones.



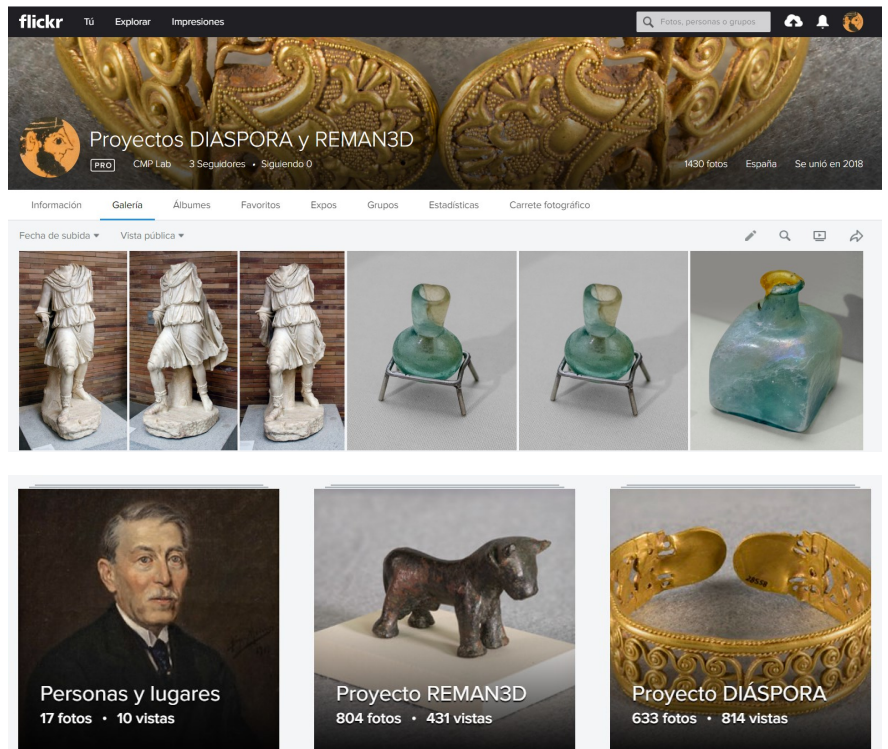
Edición de los ajustes del modelo 3D en Sketchfab.

Flickr

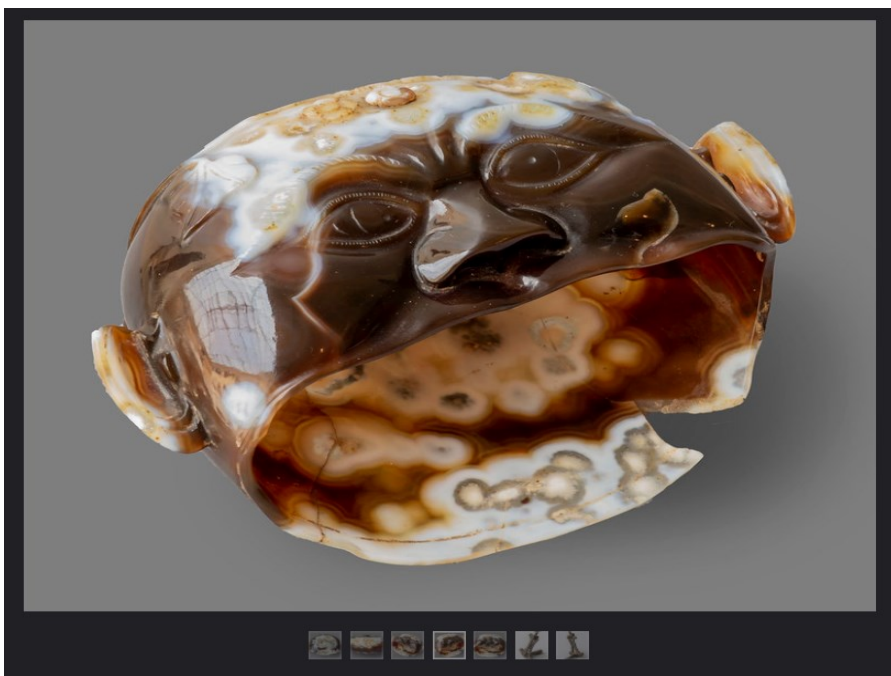
Flickr es un sitio web para almacenar, vender o comprar y descargar fotografías y vídeos. Creada en el año 2004, son muchos los profesionales o aficionados a la fotografía que usan esta web para compartir sus creaciones. El usuario crea una cuenta que puede ser gratuita o de pago, con diferentes opciones en cuanto al número y tamaño de las fotografías almacenadas.

Tanto las cuentas gratuitas como profesionales permiten etiquetar las fotografías, añadir una descripción, geolocalizarlas e incluir metadatos. También permite varios tipos de licencia, entre ellas Creative Commons.

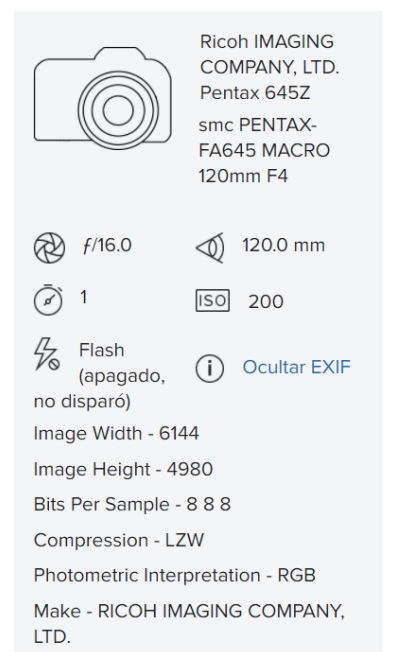
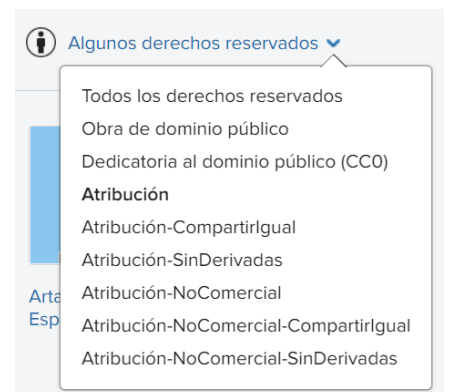
Flickr es también una red social para comentar y valorar las imágenes, suscribirse y formar grupos temáticos.



Abajo: vaso tallado en ágata de 13 x 9 cm representando la cara de un sileno. Está datado en el siglo I, y se encontró originalmente en Mérida, Badajoz. Se expone en el Museo Arqueológico Nacional y se ha incluido en el proyecto Diáspora. Más información [aquí](#).



Las figuras muestran algunas de las características de Flickr como repositorio de fotografías: portada del sitio de los proyectos Diáspora y REMAN3D, organización al álbumes, vista de una imagen, tipos de licencias disponibles y parte de los metadatos de cada imagen. Los metadatos se recogen de la propia fotografía si existen y pueden añadirse etiquetas además de una descripción que en estos proyectos está estructurada para añadir información sobre la procedencia de la pieza, época, materiales, enlaces a documentación externa, etc.



CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida.**

(Universidad de Extremadura)

Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>

Correo: cmplab@unex.es



Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.



Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital



Unión Europea

Bibliografía básica:

Felicísimo, A.M. , Polo, M.E. and Peris, J.A. Three-dimensional models of archaeological objects: from laser scanners to interactive PDF documents. *Technical Briefs in Historical Archaeology*, 2013. 7: p.13-18.

Polo, M.E. , Vaquero, J.M. and Felicísimo, A.M. Metric properties of sundials using 3d models from digital photography. *Historical Archaeology*, 2017. 5: p.557-562. <https://doi.org/10.1007/s41636-017-0047-x>

Tortosa, T.; De Soto, M. d. l. R.; Morán, C. J.; Polo, M. E.; Durán Domínguez, G. (2018). Proposal of virtual documentation and dissemination of the information of the archaeological object. *Visual Heritage*, Museen der Stadt Wien – Stadtarchäologie; Vienna (Austria). https://www.chnt.at/ebook_chnt23_tortosa-rocamora/

Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es

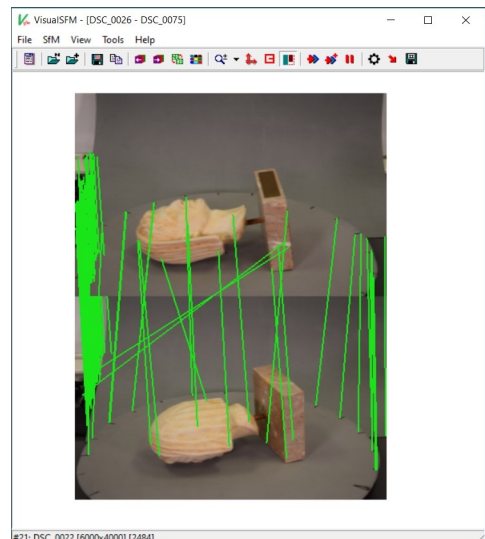
María Eugenia Polo, mepolo@unex.es

Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>



El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexos es la captura y procesado de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

Otros cuadernos de la serie



Izquierda: nube de puntos en Sistema de Modelado basado en Imágenes.

Centro: Objeto a modelar en la sesión fotográfica.

Derecha: Identificación de elementos comunes y puntos característicos en la aplicación IBM gratuita VisualSfM.



Bloques diagrama

Un bloque diagrama es una imagen que representa el terreno en perspectiva, buscando una mejor comprensión de la topografía, cobertura del suelo u otras características que las representaciones en dos dimensiones, como planos y mapas. De uso habitual en geología, geografía y disciplinas afines, los bloques diagrama han sido normalmente realizados a mano, con la ventaja de aportar la visión artística y de síntesis del autor y el problema de la gran inversión de tiempo que la realización de ese tipo de gráficos supone. Actualmente, las herramientas disponibles permiten su construcción con métodos bastante simples y con buena calidad gráfica. Quedan cuestiones pendientes, pero en este cuaderno se verá cómo realizar estos bloques con aplicaciones gratuitas y datos públicos, lo que cubrirá una parte de las necesidades docentes y de divulgación.

Licencia de uso

El procedimiento que se expone aquí puede realizarse con datos muy diversos pero es esencial asegurarse de que su licencia de uso es compatible con nuestro trabajo. En nuestro caso, los datos proceden del Centro de Descargas del CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica de España) y tienen [licencia compatible con CC-BY 4.0](#), lo que permite su uso reconociendo y mencionando el origen y propiedad de los productos y servicios de información geográfica licenciados como del IGN. De acuerdo con sus instrucciones, todo trabajo derivado debe llevar una cita similar a: Obra derivada de PNOA 2010-2013 CC-BY *scene.es*.

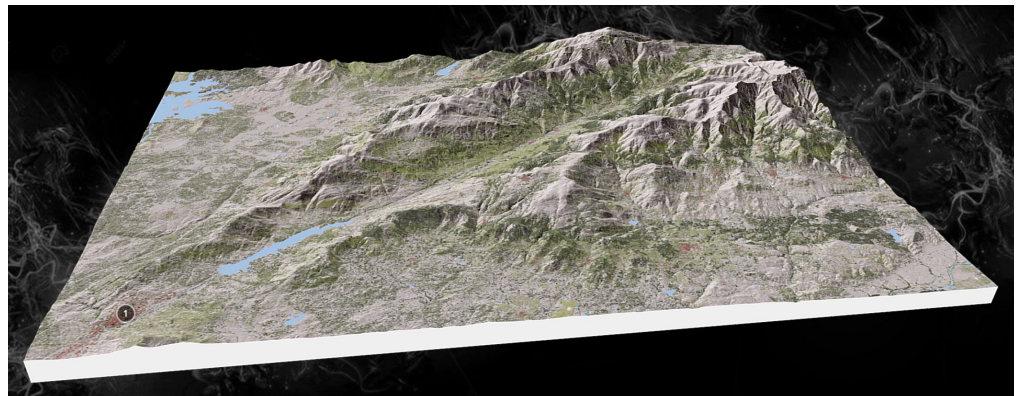
Datos

Para hacer un bloque diagrama como el que se muestra abajo, son necesarias dos cosas: un *modelo digital de elevaciones* (MDE) y una *imagen* para superponer al MDE.

El MDE puede descargarse de muchos repositorios con diferentes tamaños de celda. Aquí

hemos usado el MDT05 del CNIG, descargable por hojas en su [centro de descargas](#) y con una celda de 5 m. La imagen puede ser igualmente muy diversa, desde un mapa escaneado hasta ortoimágenes. El bloque inferior ha sido realizado con un Mapa LIDAR, elaborado también por el

CNIG y disponible en el mismo lugar que el MDE. La única condición es que ambas "capas" tengan el mismo sistema de proyección de modo que sean perfectamente superponibles. Cualquier proyección es válida pero no se puede trabajar con coordenadas geográficas (EPSG 4326).



Modelo Digital del Terreno - MDT05

Descripción: modelo digital del terreno 1ª Cobertura con paso de malla de 5 m.

SGR: ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84). Proyección UTM en el huso correspondiente. También huso 30 extendido para hojas en los husos 29 y 31. Alturas ortométricas.

Ud. descarga: hojas del MTN50

Formato: ASCII matriz ESRI (.asc)

Modelo Digital del Terreno - MDT25

Descripción: modelo digital del terreno 1ª Cobertura con paso de malla de 25 m.

SGR: ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y REGCAN95 en las Islas Canarias (ambos sistemas compatibles con WGS84). Proyección UTM en el huso correspondiente. También huso 30 extendido para hojas en los husos 29 y 31. Alturas ortométricas.

Ud. descarga: hojas del MTN50

Formato: ASCII matriz ESRI (.asc)

Mapa LIDAR

Descripción: Modelo Digital de Superficies sombreado al que se le han superpuesto dos capas procedentes de la rasterización de las clases edificación y vegetación de las nubes de puntos en formato .LAS y una tercera de hidrografía.

SGR: WGS84, proyección Web Mercator (EPSG:3857).

Ud. descarga: hoja del MTN50

Formato: ECW

Ortofoto PNOA Máxima Actualidad

Descripción: mosaicos de ortofotos más recientes disponibles del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea.

SGR: ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla, y WGS84 en las Islas Canarias. Proyección UTM en su huso correspondiente.

Ud. descarga: cada mosaico cubre una hoja del MTN50 (Mapa Topográfico Nacional 1:50.000).

Formato: ECW

Izquierda: ejemplos de datos para elaborar los bloques diagrama, todos descargables en la [web del CNIG](#).

*El formato **asc** para los MDE obliga a asignarle la proyección adecuada en el SIG. El formato de imagen **ecw** es directamente legible por QGIS.*

Aplicaciones

Para construir los bloques diagrama se utiliza el sistema de información geográfica **QGIS**, descargable en <https://qgis.org/>. En estos trabajos hemos usado la versión 3.10.5 LTR. Complementariamente a QGIS, es necesario un complemento disponible en el repositorio oficial llamado **Qgis2threejs**. Este complemento o *plugin* se carga en QGIS a través del menú *Complementos* → *Administrar e instalar complementos*. La versión usada ha sido la 2.4.2.

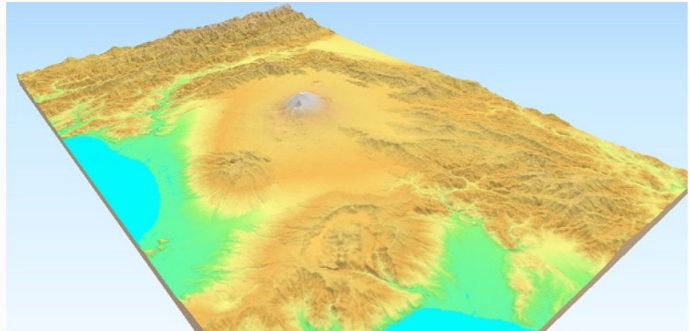
Documentación de **Qgis2threejs**
<https://qgis2threejs.readthedocs.io/en/docs/>

¿Cómo instalar un complemento? Mirad la sección [10.1.2. Installing New Plugins](#) del manual de formación de QGIS (también [en español](#)).

Procedimiento en QGIS

- 1 Elegida la zona de interés, se accede a la web del [Centro de Descargas del CNIG](#), donde se nos muestran varias opciones de productos.
- 2 Iremos a la sección Modelos Digitales de Elevaciones, donde aparecerán varias opciones: LIDAR de 1ª y 2ª generación, Mapa LIDAR, MDT de 2, 5, 25 y 200 m, y MDS de 5 m de tamaño de celda.
- 3 Las opciones de selección de productos son por división administrativa, hoja MTN50 y coordenadas UTM o geográficas.
- 4 Como se ha comentado, debe descargarse un MDE y una imagen. Las imágenes más adecuadas son la ortofoto PNOA y el Mapa LIDAR. Los productos deben seleccionarse y descargarse.

Qgis2threejs Plugin Document



Qgis2threejs plugin is a QGIS plugin, which visualizes DEM data and vector data in 3D on a web view. You can build various kinds of 3D objects with simple settings panels and generate files for web publishing in simple procedure. In addition, you can save the 3D model in gTIF format for 3DCG or 3D printing.

Modelos Digitales de Elevaciones

- LIDAR 1ª Cobertura (2008-2015)
- LIDAR 2ª Cobertura (2015-Actualidad)
- Mapa LIDAR
- Modelo Digital del Terreno - MDT02
- Modelo Digital del Terreno - MDT05
- Modelo Digital del Terreno - MDT25
- Modelo Digital del Terreno - MDT200
- Modelo Digital de Superficies - MDS05

Arriba: ejemplo de selección de tipo de productos para la búsqueda.

Abajo: ejemplo de producto (MDT05) para la hoja 56; los tamaños de los ficheros pueden ser grandes, hasta 2.5 GB para las imágenes PNOA.

Nombre	Formato	Tamaño (MB)	Fecha	Localizar	Descargar	
PNOA-MDT05-ETRS89-HU30-0056-LID.ASC	ASC	166.05	2010, 2012			Añadir

- 5 Tanto el MDE como la imagen (pueden hacer falta varios elementos, según en qué zona de la hoja caiga la zona de interés), se cargan en QGIS.
- 6 Se realizan los ajustes necesarios para que las capas cargadas se superpongan exactamente: normalmente usaremos un sistema de proyección ETRS89/UTM (EPSG 25829, 25830...).
- 7 Se añade cualquier otra capa si se desea añadir información; por ejemplo, vías de comunicación (también disponible en el Centro de Descargas del CNIG).
- 8 Se ajusta la forma de la vista (rectangular, cuadrada) y el orden y la escala de las capas para que se vea exactamente lo que se desea incluir en el diagrama-bloque.

Derecha: ejemplo de diseño de vista en QGIS

Procedimiento en Qgis2threejs

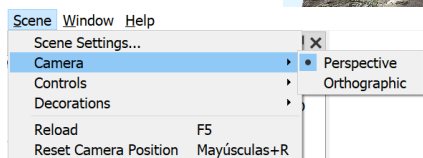
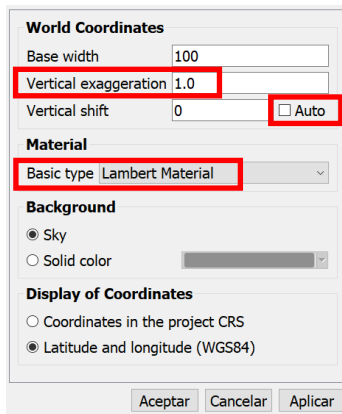
9 Se activa Qgis2threejs en el menú web.

Aparecerá una nueva ventana con una primera visualización del bloque. Si la ventana aparece vacía, verificar que el MDE y demás capas estén marcadas en el panel de la izquierda Layers (ver figura a la derecha).

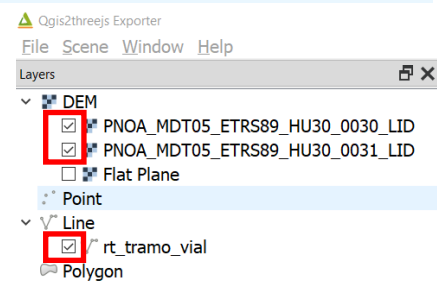
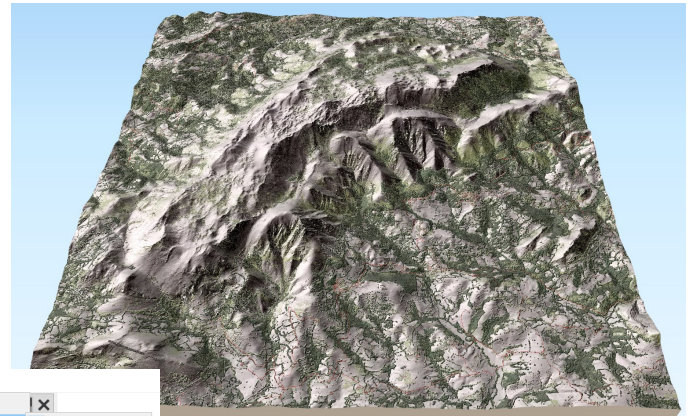
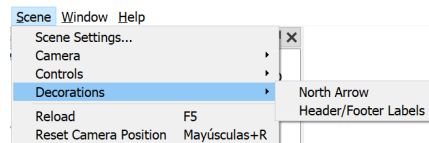
10 Las principales opciones de configuración son:

En Scene → Scene Settings:

En Scene → Camera:



En Scene → Decorations:



Las opciones que usamos en cada caso son:

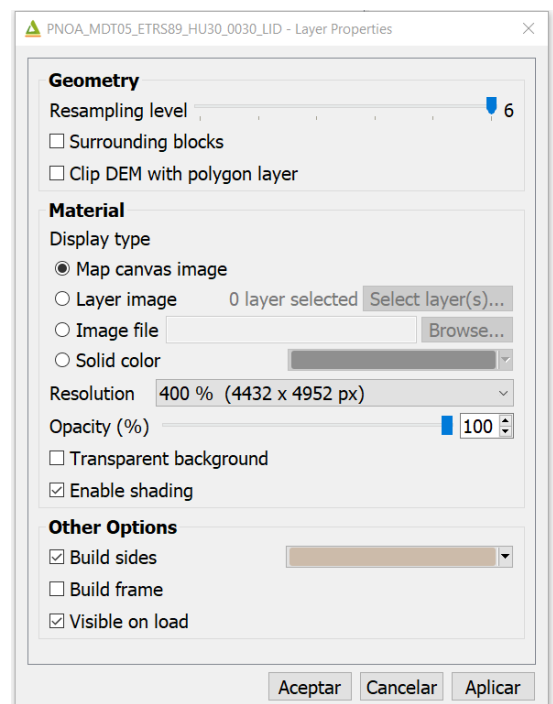
- *Vertical exaggeration*: entre 1.0 y 1.2; en zonas montañosas, 1 es suficiente, con poco relieve, hasta 1.2 parece aceptable.
- *Vertical shift*: cero o automático (regula el desplazamiento en vertical del MDE respecto a las otras capas).
- *Basic type*: tiene tres opciones de reflectancia del material: *Lambert*, *Phong* y *Toon*; con las imágenes que usamos aquí no hay diferencia apreciable por lo que se deja en la opción por defecto.
- *Background*: irrelevante ya que no se incluye en la exportación del bloque.
- *Display of coordinates*: devuelve las coordenadas de un punto sobre el que cliquemos; irrelevante para la exportación.
- *Scene Camera*: la opción *Perspective* para un efecto natural; es irrelevante para la exportación del bloque.
- *Scene Decoration*: añade un símbolo de Norte o texto; irrelevante ya que no se incluye en la exportación del bloque.

11 Clicando con el botón derecho sobre en MDE se accede a otras opciones importantes (imagen a la derecha):

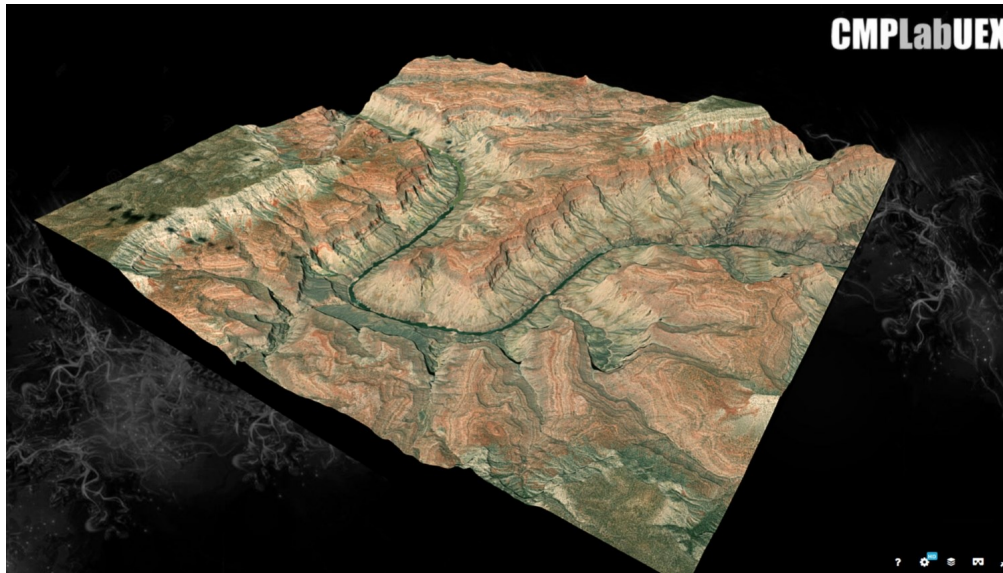
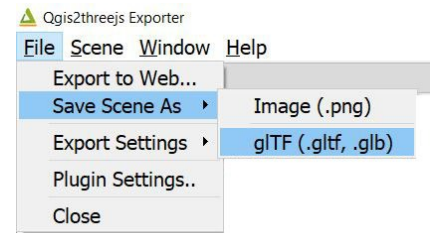
- *Resampling level*: define la generalización del MDE (en estos modelos no accedemos a la resolución completa). Abajo vemos dos ejemplos de niveles de remuestreo: de los 6 que se muestran. Usaremos el nivel 6 para conseguir en mínimo tamaño de celda posible.

<p>Level 3 Grid Size: 284 x 318 Grid Spacing: 41.43581 x 41.33176)</p>	<p>Level 6 Grid Size: 568 x 635 Grid Spacing: 20.68136 x 20.66588)</p>
--	--

- *Material*: permite elegir la imagen a superponer que, en este caso, ya está en la vista (*camas*), por lo que la primera opción es adecuada.
- *Resolution*: define la generalización de la imagen; como en el caso del MDE, elegiremos la máxima posible (400%).
- *Enable shading*: añade un sombreado analítico a la vista. Deben ensayarse las dos opciones y elegir la visualmente más aceptable; frecuentemente se dejará desactivada si la imagen incorpora ya un sombreado real, como en el caso de las ortofotos.
- *Build sides*: añade lados verticales y un plano de base para construir un bloque cerrado; suele ser una opción visualmente adecuada para que cual se puede elegir el color de las caras en el desplegable.



12 El último paso es la exportación del bloque a un formato 3D legible por otros programas y, en concreto, por **Sketchfab**, que es el lugar que usamos de repositorio y catálogo. La única opción que existe es **glTF** (*GL Transmission Format*), un formato para escenas y modelos 3D basado en el estándar **JSON** que empaqueta geometría y textura en un único archivo. Nuestros ficheros ocupan entre 50 y 100 MB y pueden subirse directamente a Sketchfab, donde se podrán configurar otros parámetros característicos de la plataforma para la mejor visualización del bloque-diagrama.



Gran Cañón, río Colorado, Arizona, EE.UU.

El Gran Cañón (Grand Canyon), excavado por el río Colorado, está en el Parque Nacional homónimo, declarado Patrimonio de la Humanidad en 1979.

[Modelo generado mediante QGIS y Qgis2threejs.](#)

Obra derivada de ALOS Global Digital Surface Model (AW3D30)) e imagen Landsat del servicio World Imagery de ArcGIS online.

CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida**.

(Universidad de Extremadura)
Avenida Santa Teresa de Jornet, 38
06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>
Correo: cmplab@unex.es



Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es
María Eugenia Polo, mepolo@unex.es
Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>



El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexos es la captura y procesado de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.



Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital





Modelos 3D interactivos vs animaciones

En el CMPLab se ha optado por publicar los modelos 3D en Sketchfab (<https://sketchfab.com/secad/models>) por sus capacidades a la hora de configurar la visualización y la calidad de la reproducción, donde estos modelos pueden ser rotados, ampliados y examinados desde todos los puntos de vista que se permita en la configuración. En ocasiones, sin embargo, puede ser más conveniente mostrar un objeto 3D mediante una animación simple que haga una rotación de 360° sin más complicaciones. Este recurso evita tener que entrar en la página web de Sketchfab y puede ser suficiente para un muestrario o catálogo de piezas que se mostraría con formatos de video universales visibles con las aplicaciones por defecto de los ordenadores (aunque se pueda recomendar alguna en especial). Este cuaderno propone una solución simple para construir estas animaciones.

Datos

Las animaciones se realizan con modelos 3D subidos previamente a *Sketchfab*. Se entiende que la configuración de visualización que permite *Sketchfab* ya está ajustada para una buena calidad: luces, entorno, materiales, etc.

Software

Los videos se realizan con una aplicación experimental denominada *GIF Export*, disponible en la sección [Sketchfab Labs Experiments](#). Como veremos, *GIF Export* es automático y permite pocas opciones, aunque suficientes para el objetivo.

Preproceso

El modelo 3D debe estar bien centrado y orientado en su sistema de coordenadas local y la vista debe mostrarlo aprovechando el espacio disponible ya que *GIF Export* trabaja directamente, sin cambio alguno, sobre esa configuración.

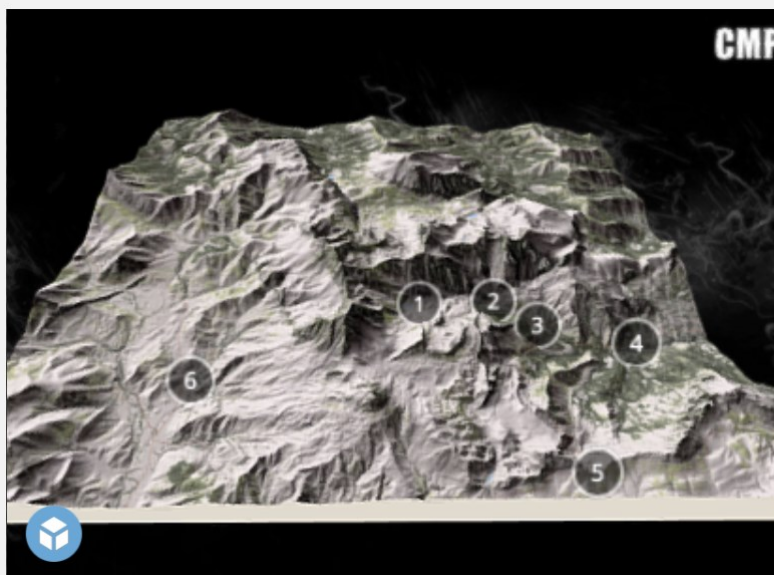
1

Load 3D Scene

El modelo puede definirse de dos formas: *Search* y *From URL*.

Search busca por palabras y no suele dar muy buenos resultados (es un problema general de *Sketchfab*).

En *From URL* el acceso es directo ya que se da la dirección explícita del modelo 3D.



SETTINGS

Resolution 1280 × 720 (4096 max)

320x180 640x360 HD 720 HD 1080

Duration 15s ▾

Format WebM Video (Chrome only) ▾



2

Settings: Resolution

Se pueden definir varios valores para el tamaño de los *frames* del video. La recomendación es un mínimo de HD 720 (1280x720) y, si la nitidez es buena, HD 1080 (1920 x 1080). El tiempo de proceso crece con la resolución y con la duración, así como el tamaño final del video.

3

Settings: Duration

Los valores para la duración del video están predefinidos: 1, 2, 5, 10, 15, 20 y 30 s. Los tiempos breves muestran una calidad gráfica menor, con "saltos" entre *frames* más visibles. En nuestra experiencia, dado que siempre se da una vuelta completa al objeto, el mínimo recomendable es de 15 s.

4

Settings: Format

Se permiten dos formatos de salida: *GIF* y *WebM Video*. Salvo videos de muy corta duración, recomendamos *WebM Video*, un formato abierto, desarrollado por Google, y orientado para usarse con HTML5. La limitación de este formato es que debe generarse con el navegador *Google Chrome*.

5

Render

Pulsando el botón *Render* comienza la generación del video. Su progresión puede seguirse de forma aproximada en la pantalla ya que el modelo va girando. A su fin, el video se descarga automáticamente en nuestro ordenador, en la carpeta *Descargas*.

SIGUE...



6**Observaciones**

Los videos no incluyen las anotaciones que pueda haber sobre los modelos en *Sketchfab*.

El punto de origen del video no es el que aparece en la vista de *Sketchfab*, sino que está rotado significativamente.

El tiempo de procesado puede ser de varios minutos. El modelo mostrado en la página anterior necesita 2:30 min para un video HD720 de 15 s de duración.

El proceso se realiza en el servidor por lo que puede lanzarse desde cualquier dispositivo independientemente de sus prestaciones (aunque hay que tener en cuenta la descarga).

7**Observaciones**

Los videos pueden ser "pesados", con HD1040 y 20-30 s de duración nos ocupan entre 45 y 120 MB.

El formato WebM Video es compatible con *Youtube* y *Vimeo*.

Recomendamos que la visualización se realice con VLC Media Player; algunos visores amplían por defecto el video a la totalidad de la pantalla con lo que la calidad se ve comprometida.

Como corresponde al formato, el códec de video es el VP8, desarrollado por On2 Technologies y liberado por Google tras la compra de la empresa; actualmente es de código abierto.

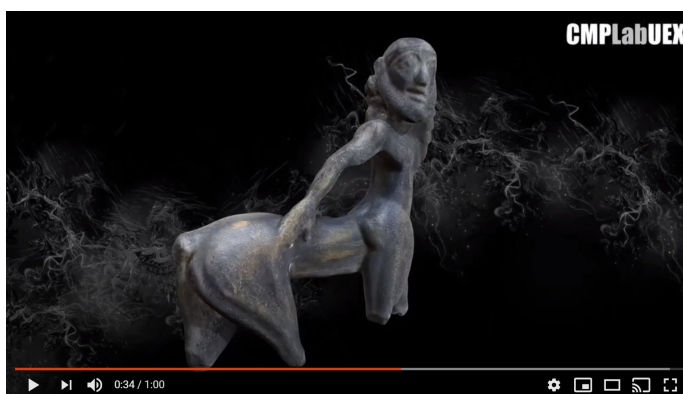
Listas de reproducción en YouTube

Hemos creado [un canal en YouTube](#) con diversas listas de reproducción temáticas como REMAN3D, que incluye videos del proyecto de investigación nacional REMAN3D, GEO3D, de bloques diagrama elaborados a partir de modelos digitales de elevaciones y diversas capas de cubierta del suelo (imágenes satelitales, ortofotografías, sombreados analíticos, etc.) o PREHISTORIA, con modelos de dólmenes, principalmente. A continuación se presentan algunos ejemplos.

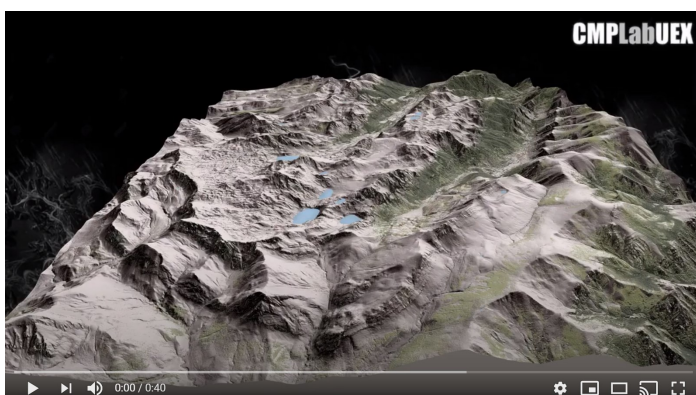
Pico Espigüete, Palencia

[\[enlace\]](#)

Centauro de Royos (Museo Arqueológico Nacional)

[\[enlace\]](#)

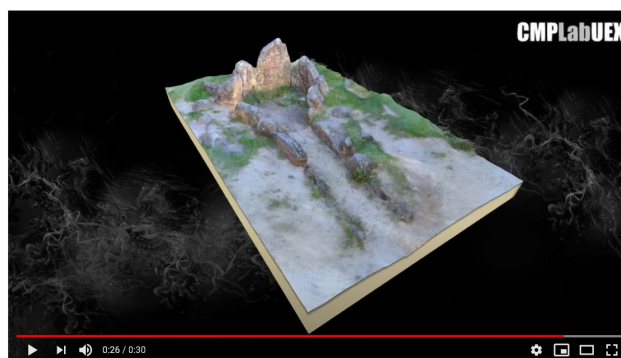
Parque Natural de Somiedo, Asturias

[\[enlace\]](#)

Dama de Galera (Museo Arqueológico Nacional)

[\[enlace\]](#)

En esta cuenta de **Youtube** se irán añadiendo otras colecciones de objetos arqueológicos organizados por listas de distribución. Complementariamente a estos videos, son públicos los modelos 3D y las fotografías de alta resolución en las cuentas siguientes: **Sketchfab** (<https://sketchfab.com/secad/collections>) y **Flickr** (<https://www.flickr.com/photos/163276198@N08/albums>).

Bicha de Balazote (Museo Arqueológico Nacional) [[enlace](#)]Dolmen de Carmonita, Carmonita, Badajoz [[enlace](#)]Vaso de los Guerreros (Museo Arqueológico Nacional) [[enlace](#)]Dolmen del Tremedal, Montehermoso, Cáceres [[enlace](#)]

CMPLab es el acrónimo de Laboratorio de Captura de Datos, Modelado Virtual y Producción/Prototipado. CMPLab surgió de un proyecto de Ayudas a Infraestructuras y Equipamiento Científico-Técnico de la Secretaría de Estado de Investigación y comenzó su andadura en 2016. Este laboratorio trabaja en líneas de investigación relacionadas con la construcción de modelos 3D de objetos arqueológicos, fotografía de muy alta resolución, prospección geofísica y aplicaciones de la geomática al patrimonio cultural.

Nuestra sede física está en la primera planta del edificio de investigación del **Centro Universitario de Mérida**.

(Universidad de Extremadura)

Avenida Santa Teresa de Jornet, 38

06800 Mérida (España)

<http://cmplab.unex.es/>

Correo: cmplab@unex.es



Créditos de este cuaderno:

Ángel M. Felicísimo, amfeli@unex.es

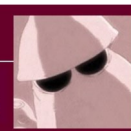
María Eugenia Polo, mepolo@unex.es

Grupo Kraken <http://kraken.unex.es/>



GRUPO KRAKEN

ANÁLISIS DE DATOS
REPRODUCCIÓN Y MODELADO 3D



El grupo Kraken está formado por personas de diferentes áreas de conocimiento: ingeniería geomática, física de la Tierra, biología, telemática, agronomía... Nuestro nexos es la captura y procesado de datos espaciales tanto a escala detallada (modelos 3D, documentación gráfica de objetos) como a escala territorial (sistemas de información geográfica, teledetección, geofísica...).

Parte de la realización de estos cuadernos ha sido financiada a través del proyecto GR18028 (Grupo de investigación RNM026) el cual ha sido co-financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) y el Gobierno de Extremadura.

JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Economía, Ciencia y Agenda Digital



Unión Europea

A lo largo de estos cuadernos se ha explicado de forma divulgativa cómo crear modelos 3D de diferentes objetos o escenas mediante escáneres 3D y fotografía digital, así como técnicas específicas de fotografía y de difusión virtual de la información generada. Algunos de los ejemplos usados para ilustrar las técnicas proceden de los proyectos de investigación Diáspora y REMAN3D.

El proyecto “**Diáspora**. Patrimonio cultural e identitario de Extremadura” (IB16212) tiene como objetivo la elaboración de un catálogo de objetos arqueológicos de procedencia extremeña (desde la Prehistoria al siglo VIII) que, en la actualidad y por circunstancias diversas, se encuentran depositados fuera de Extremadura. Este proyecto fue presentado a la convocatoria de ayudas para proyectos de investigación en los centros públicos de I+D+i de la Comunidad Autónoma de Extremadura (Secretaría General de Ciencia, Tecnología e Innovación, Consejería de Economía e Infraestructuras, Junta de Extremadura) y se ha desarrollado entre los años 2017 a 2020. Los investigadores de este proyecto pertenecen al Instituto de Arqueología de Mérida (Centro Superior de Investigaciones Científicas) y a la Universidad de Extremadura.

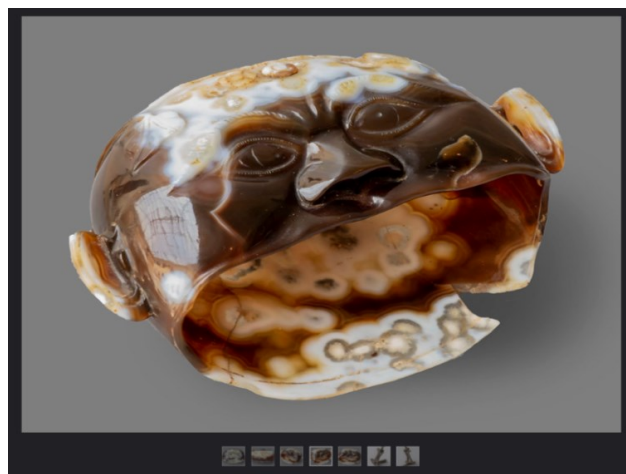


REMAN3D es el acrónimo del proyecto “Reubicando los objetos ibéricos del Museo Arqueológico Nacional: de rituales, biografías y observaciones a través de los modelos 3D” (HAR2017-87897-P). Este proyecto fue presentado al Programa Estatal de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de Excelencia (Agencia Estatal de Investigación, Ministerio de Economía, Industria y Competitividad). Participan en este proyecto investigadores del Instituto de Arqueología de Mérida, Universidad de Extremadura, Museo Arqueológico Nacional y Universidad Autónoma de Madrid.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de estos cuadernos quieren agradecer al **Museo Arqueológico de Badajoz** y al **Museo Arqueológico Nacional** las facilidades dadas para la fotografía y construcción de modelos 3D reseñados en las páginas anteriores.

Vaso tallado en ágata de 13 x 9 cm representando la cara de un sileno. Está datado en el siglo I, y se encontró originalmente en Mérida, Badajoz. Se expone en el Museo Arqueológico Nacional y se ha incluido en el proyecto Diáspora.



Escaneo 3D con escáner de luz estructura del Jarro de Siruela (siglo VI a. C.) que se encuentra en el Museo Arqueológico de Badajoz.



Ejemplo de imagen generada mediante la técnica de focus stacking. Se trata de un brazalete perteneciente al tesoro de Aliseda (Cáceres). Se encuentra en el Museo Arqueológico Nacional, sección de Protohistoria (Ref. MAN 28558).