

## **SCANNING AND 3D RECONSTRUCTION FROM IMAGES AS A DIDACTIC INITIALIZATION TOOL IN REVERSE ENGINEERING**

Parras, D. <sup>1</sup>; Romero, L. <sup>2</sup>; Cavas, F. <sup>1</sup>; Nieto, J. <sup>1</sup>; Cañavate, F.J.F. <sup>1</sup>; Fernández-Pacheco, D.G. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Cartagena, <sup>2</sup> Universidad Nacional de Educación a Distancia

The application of Information and Communication Technologies in the teaching field has an increasing impact on the teaching-learning process of students and it is demonstrated that their motivation increases if it becomes an active part of their learning. In the specific case of mechanical engineering students, these technologies will permit the students to dispose of learning tools which provide a better comprehension and development of the inverse engineering processes with the aim of creating a digitalized design of a tangible object or set up new designs with a better appearance and functionality.

With this objective the present communication proposes a series of low cost tools which will help engineering students to learn the basics of scanning and three-dimensional reconstruction of objects, point clouds or mesh of an object, reverse engineering, exporting to other CAD formats and preparation of models for rapid prototype printing.

**Keywords:** learning; teaching; software; point cloud

## **ESCANEADO Y RECONSTRUCCIÓN 3D A PARTIR DE IMÁGENES COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA DE INICIACIÓN A LA INGENIERÍA INVERSA**

La aplicación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la docencia posee cada vez una mayor repercusión en el proceso de enseñanza-aprendizaje del alumno y se demuestra como su motivación aumenta si se convierte en parte activa de su aprendizaje.

En el caso concreto de los estudiantes de Ingeniería Mecánica, estas tecnologías van a permitir al alumno disponer de unas herramientas didácticas que faciliten una mejor comprensión y desarrollo de los procesos de ingeniería inversa con el objetivo de crear un diseño digitalizado del objeto tangible y configurar nuevos diseños que cuenten con mejores características de apariencia y funcionalidad.

Con este objetivo la presente comunicación propone una serie de herramientas de bajo coste que van a permitir a los estudiantes de ingeniería conocer los conceptos básicos de escaneado y reconstrucción tridimensional de objetos, nube de puntos o malla de un objeto, ingeniería inversa, exportación a otros formatos CAD y preparación de los modelos para la impresión rápida de prototipos.

**Palabras clave:** aprendizaje; docencia; software; nube de puntos

## 1. Introducción

Un escáner 3D es un dispositivo que analiza un objeto o una escena para reunir datos de su forma y ocasionalmente su color, pudiendo usar la información obtenida para construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones.

En la industria moderna, el uso de estas tecnologías se ha convertido en una obligación para ser competitivos, suponiendo una ventaja que puede reducir los costes y aumentar la eficiencia en cualquier proceso. En la actualidad los escáneres 3D son herramientas de gran utilidad en el diseño de ingeniería, permitiendo obtener objetos virtuales óptimos para realizar todas las simulaciones requeridas en un proceso de diseño.

Se pueden encontrar varios tipos de escáneres 3D: de contacto, sin contacto, activos, pasivos, etc. con los cuales se puede obtener una gran precisión en los datos adquiridos. Por otro lado, también se puede realizar el escaneado y reconstrucción 3D mediante un conjunto de fotografías sucesivas; es el llamado modelado y renderizado 3D basado en la imagen (MR3DBI). Este tipo de visión artificial se basa en la detección, agrupación y extracción de características (lados, vértices, etc) presentes en una imagen para posteriormente interpretarlos como elementos comunes de un modelo 3D.

Este método MR3DBI abarca desde la adquisición de los datos hasta la generación de un modelo virtual 3D interactivo, proceso para el cual se realiza una conversión de una nube de puntos a una red triangulada (malla) o bien una superficie con textura.

Este método se puede dividir en dos partes claramente diferenciadas. Por un lado, el renderizado por imagen o IBR (*Image-based rendering*) que utiliza imágenes en lugar de polígonos como primitivas. El objetivo es conseguir renderizados más rápidos y más realistas simplificando el proceso de modelado. La técnica consiste en, o bien conocer con precisión las posiciones de las cámaras, o bien realizar el llamado "stereomatching" automático, el cual, en ausencia de datos geométricos, requiere de un gran número de imágenes cercanas entre sí. Y por otro lado, el modelado por imagen o IBM (*Image-based modelling*), que emplea imágenes para dirigir la reconstrucción de modelos geométricos tridimensionales.

De esta manera, el modelado basado en la imagen parece ser una alternativa completa, económica, práctica y flexible a los costosos escáneres. En lugar de renderizar objetos o escenas usando la tradicional aproximación por polígonos, el MR3DBI utiliza grandes cantidades de imágenes (fotográficas o sintéticas) para conseguir un alto nivel de realismo.

Este tipo de técnicas se vienen utilizando desde hace varios años y son muchos los estudios que se han realizado en torno a ellos. Uno de los primeros estudios que se encuentran están relacionados con la arquitectura, donde Debevec et al. (1996) presentan una combinación de técnicas basadas en la geometría y la imagen para hacer representaciones realistas de arquitectura. Por otro lado, Shum et al. (2000) examinan las técnicas de renderizado basado en la imagen comparándolos con los gráficos 3D por ordenador tradicionales. Otro estudio similar es el de Oliveira (2002), que presenta un estudio del arte de las técnicas de modelado basado en la imagen y técnicas de representación, y discute los principios fundamentales de cada una de ellas, sus puntos fuertes y sus limitaciones. Estas técnicas se han ido mejorando y se han obtenido mejores resultados con objetos y escenas que antes no eran apropiadas, como es el caso del trabajo presentado por Sinha et al. (2012).

Teniendo en cuenta las características y posibilidades que nos proporcionan los escáneres 3D, se ha buscado una alternativa económica y accesible para recrear un proceso de reconstrucción con una finalidad realmente útil para la ingeniería y su posible aplicación como herramienta didáctica. Existen diversas aplicaciones para la reconstrucción 3D mediante imágenes, tales como Autodesk 123D Catch, Microsoft PhotoSynth, Patch-Based Multi-View

Stereo (PMVS), PixelStruct, VisualSize, Bundler, BigSFM u OpenPhotoVR, entre otras. De estas aplicaciones, se ha seleccionado la que destaca por ser una de las más utilizadas y la que mejor resultados ofrece (Cavas Martínez et al., 2014): Autodesk 123D Catch.

El objetivo de la utilización de este tipo de tecnologías de bajo coste como herramientas didácticas es introducir a los alumnos unos conocimientos y unas metodologías de trabajo que posteriormente pueden ser aplicadas en el mundo laboral mediante herramientas más sofisticadas.

En el caso concreto del software libre Autodesk 123D Catch, éste permite convertir una serie de fotografías 2D en un modelo tridimensional, perteneciendo a un conjunto de herramientas de diseño asistido y modelado 3D creadas por Autodesk. La principal ventaja de este programa radica en la no necesidad de realizar una calibración de la cámara para la toma de fotografías, además del hecho de que las reconstrucciones se procesan y almacenan en la nube, por lo que se puede acceder desde cualquier sitio y usando varios dispositivos.

Uno de los primeros trabajos realizados usando este tipo de programas es el desarrollado por Cervera et al. (2012), donde se realizan pruebas de modelado 3D de espacios cerrados para los que se va a realizar un estudio de acústica. Ese mismo año Venkatesh et al. (2012) estudian la alternativa de los modelos 3D por fotogrametría como una fuente sencilla y económica de imágenes para diagnóstico y evaluación en el campo de la odontología, sirviendo de complemento a otras imágenes de diagnóstico en 2D como imágenes de rayos X. Un estudio similar realizan Santagati e Inzerillo (2013), pero enfocado en el marco de la arquitectura, realizando un estudio de la precisión métrica de 123D Catch, en contraposición a los estudios de precisión visual que se venían haciendo hasta el momento. A su vez, Santamaría y Sanz (2013) profundizan en el empleo de Autodesk 123D Catch para la modelización 3D de terrenos, como alternativa a otros métodos topográficos más complejos y costosos. Otro estudio a destacar es el realizado por Lerma et al. (2014), donde comparan resultados de software de modelado basado en imagen (Autodesk 123D Catch, Fotoglife y VisualSFM) con los resultados de mediciones laser en tiempo de vuelo (*time-of-flight*) en dos pinturas rupestres distintas.

El siguiente software libre utilizado en este estudio es Meshlab, el cual ofrece una serie de herramientas para la edición y procesado de modelos de superficies en forma de mallas triangulares 3D. Está basado en gran medida en la biblioteca VCG, desarrollada por el Laboratorio Computacional Visual del ISTI-CNR, y está disponible para Windows, MacOSX y Linux. MeshLab se creó en 2005 como parte del curso FGT del Departamento de Informática de la Universidad de Pisa, y está apoyado por el proyecto 3D-CoForm. Cignoni et al. (2008), creadores de esta aplicación, nos muestran en su estudio las características de esta herramienta y todas las posibilidades que ofrece.

## **2. Aplicación como herramienta didáctica**

Existen varios ejemplos de cómo la aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la docencia tiene una gran repercusión en el proceso de enseñanza-aprendizaje del alumno y de cómo aumenta su motivación si se convierte en parte activa de su aprendizaje. Las universidades demandan, cada vez más, acciones formativas complementarias como apoyo a la docencia presencial. Cavas-Martínez et al. (2012) presentan un estudio que demuestra como el uso de las aplicaciones informáticas de libre acceso mejora el rendimiento académico de los alumnos en la asignatura de Proyectos de Ingeniería.

Camacho et al. (2008) muestran otro ejemplo donde se presenta un recurso didáctico en el estudio de las matemáticas en las titulaciones de Economía y Empresa, demostrando un

aumento en la asimilación de los conceptos desarrollados en el aula y suponiendo una retroalimentación al docente para mejorar la metodología de su enseñanza.

Más concretamente, y relacionando la docencia con los escáneres 3D, encontramos un ejemplo en el ámbito de las Ciencias de la Salud, donde las representaciones volumétricas se aplican cada vez más en el proceso educativo para permitir que el alumno pueda tener una comprensión visual más cercana a la realidad tridimensional del objeto de estudio. Un ejemplo es el proyecto de innovación docente desarrollado por Prados et al. (2008) con la finalidad de obtener un material multimedia de las zonas más complejas de la anatomía humana que permita una metodología docente activa por parte del alumno, utilizando para ello un escáner láser y un software para el tratamiento y conversión de los datos escaneados.

Otro ejemplo de utilización de escáneres 3D para fines didácticos en el ámbito universitario nos lo muestra Mateos Quintanilla et al. (2001), donde desarrollan un prototipo de escáner 3D. Aunque el tipo de escáner desarrollado fue óptico en ese caso, es interesante la aplicación didáctica que diseñaron. En su estudio presentan cómo los alumnos aprenden a manejar el escáner y a través de varias prácticas, adquirir datos, reconstruir elementos, compararlos, etc.

Tal y como se puede comprobar, la utilización de este tipo de herramientas para el ámbito docente posee múltiples aplicaciones. Los ingenieros tienen que enfrentarse a múltiples proyectos en su vida laboral y cada vez más se utilizan este tipo de herramientas de escaneado y reconstrucción tridimensional. Son tecnologías que están cada día más en auge y deben saber afrontarlas de la mejor manera posible.

Por otro lado, la ingeniería inversa se puede definir como el proceso de capturar, en forma precisa y eficiente, las dimensiones del objeto y luego extraer la información necesaria del barrido resultante con el objetivo de crear el diseño digitalizado del objeto tangible o configurar nuevos diseños para que cuenten con mejores características de apariencia y funcionalidad.

En este sentido, ya se han realizado estudios que intentan introducir a los alumnos en estas nuevas tecnologías de digitalización y reingeniería como Sinha (2008), donde se realiza una presentación preliminar de distintas herramientas de escaneado 3D e ingeniería inversa.

Otro concepto que va implícito en este estudio es la fotogrametría, la cual se define como la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías para, de esa manera, obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado. Esta definición es, en esencia, la adoptada por la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS).

Teniendo en cuenta estos conceptos se propone una serie de herramientas de bajo coste donde los estudiantes de ingeniería puedan conocer los conceptos básicos de escaneado y reconstrucción tridimensional de objetos, nube de puntos o malla de un objeto, ingeniería inversa, exportación a otros formatos CAD y preparación de los modelos para la impresión rápida de prototipos.

Para la utilización de este tipo de herramientas se plantean una serie de prácticas para que los estudiantes aprendan a utilizar este tipo de aplicaciones y le saquen el máximo rendimiento.

La primera práctica consiste en preparar el escenario para la obtención de las fotografías del objeto de estudio. Esta sería la fase de escaneado del objeto, que consiste en realizar una serie de fotografías alrededor de la pieza, cubriendo los 360° y a diferentes alturas. Este proceso no requiere un laboratorio o sala especial, por lo que facilita el trabajo del estudiante si se contempla la modalidad a distancia. Esta práctica, que a priori puede parecer sencilla, requiere que se controlen varios parámetros como son la iluminación, el contraste entre los

colores de la pieza y el entorno, elementos de referencia, etc. para que el resultado sea el más óptimo en la reconstrucción.

La segunda práctica nos lleva a la reconstrucción tridimensional del objeto fotografiado en la práctica anterior. Este proceso es muy gratificante y didáctico, pues los estudiantes pueden obtener una reconstrucción virtual, a partir de las imágenes introducidas en el programa, con las que pueden empezar a trabajar. Deben evaluar el grado de similitud en cuanto a geometría, color y texturas de la pieza de estudio y el modelo tridimensional generado. Esta fase es muy motivadora para los alumnos ya que son ellos los que van obteniendo resultados con cada paso que se da. Esta fase posee múltiples aplicaciones en el mundo real, pues la obtención de modelos virtuales se utiliza en distintos ámbitos como la medicina para el análisis anatómico y la obtención de prótesis, o la arqueología para la conservación y difusión de objetos históricos, museos virtuales etc.

En las prácticas sucesivas se contempla la comparación de piezas, el trabajo con nube de puntos y mallas, exportación a otros formatos, etc., solapando distintas piezas reconstruidas tridimensionalmente que se suponen iguales con respecto a una pieza patrón. Con ayuda de otro software, los estudiantes deberán hacer por ejemplo un estudio pormenorizado de la geometría y obtener los puntos no coincidentes. Esta parte tiene gran importancia pues cada vez más en la industria se utilizan este tipo de análisis de piezas como control de calidad en los procesos de fabricación, trabajar con distintos programas, intercambiar archivos, etc.

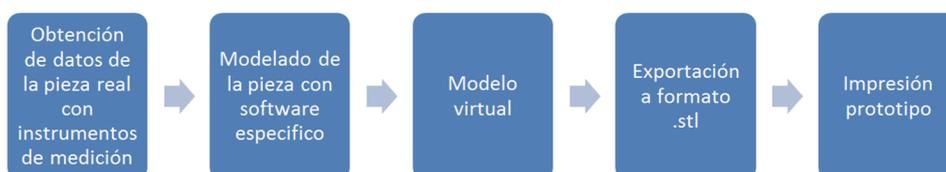
Este tipo de prácticas preparan a los estudiantes en nuevas tecnologías y aplicaciones que cada vez más se están implantando en todos los ámbitos profesionales de la sociedad. Las universidades deben estar preparadas hacia estos nuevos retos y ofrecerlas como complemento en su formación académica.

### 3. Metodología

El objetivo de la utilización de estas herramientas es mostrar a los alumnos dos caminos para obtener virtualmente objetos mecánicos y su posterior utilización para posibles rediseños o fabricación de prototipos. Ambos caminos nos sirven para entender el proceso de ingeniería inversa.

El esquema que se puede considerar tradicional para la obtención de datos de un objeto existente y su posible reproducción mediante impresión de prototipos sería el que se muestra en la figura 1.

**Figura 1. Esquema con obtención de datos con instrumento de medición**



Otra alternativa que se desarrolla en la industria desde hace unos años es el escaneado de objetos y su transformación a modelos virtuales con los que poder trabajar y obtener igualmente prototipos (Fig. 2).

**Figura 2. Esquema con obtención de datos con instrumento de medición**



A continuación, se muestran los materiales y objetos utilizados en el proceso de escaneado y los distintos pasos seguidos para la reconstrucción tridimensional de los objetos.

### 3.1 Materiales

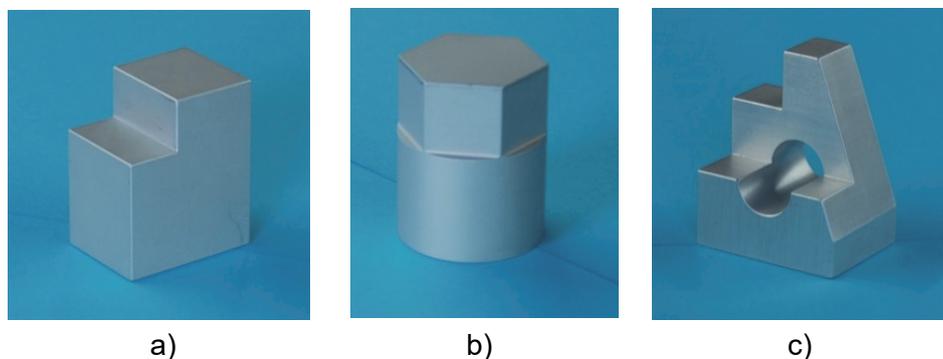
La obtención de las imágenes se realiza en un entorno dinámico, donde las piezas permanecen fijas y las fotografías se toman alrededor de ella. La cantidad de fotografías que se han tomado para este estudio han sido entre 30 y 70 para cada pieza, tomadas alrededor de las piezas y a dos alturas distintas ( $0^\circ$  y  $30^\circ$  aproximadamente).

La cámara empleada para realizar las fotografías ha sido una Cámara Reflex Digital Nikon D80, de 10 megapíxeles de resolución y una sensibilidad calibrada de 100 a 1600 ISO.

El ordenador utilizado para todos los procesos de reconstrucción, importación y exportación de datos está equipado con un procesador Intel® Core™ i7-4790k 4GHz, sistema operativo Windows 7 Profesional de 64 bits y memoria RAM de 16 GB.

Para este estudio se han seleccionado tres objetos similares pero de geometría distinta (Fig. 3).

**Figura 3. Objetos reales: a) Pieza 1, b) Pieza 2, c) Pieza 3**



### 3.2 Autodesk 123D Catch

Para la descarga y empleo del software es necesario crear una cuenta en la web de Autodesk. Para crear la reconstrucción, se debe seleccionar la opción "Create a New Capture", tras lo cual emerge el explorador de archivos en el que se seleccionan las fotografías deseadas para la reconstrucción. 123D Catch sube las fotografías a los servidores de Autodesk, crea la reconstrucción y la texturiza y la vuelve a descargar para ser visualizada en el programa. De esta forma las reconstrucciones poseen una buena calidad a la vez que se procesan de forma rápida y sin consumir recursos de memoria ni CPU del usuario, dependiendo únicamente de la velocidad de conexión a Internet.

Finalizado el proceso, se puede visualizar el resultado final (Fig. 4).

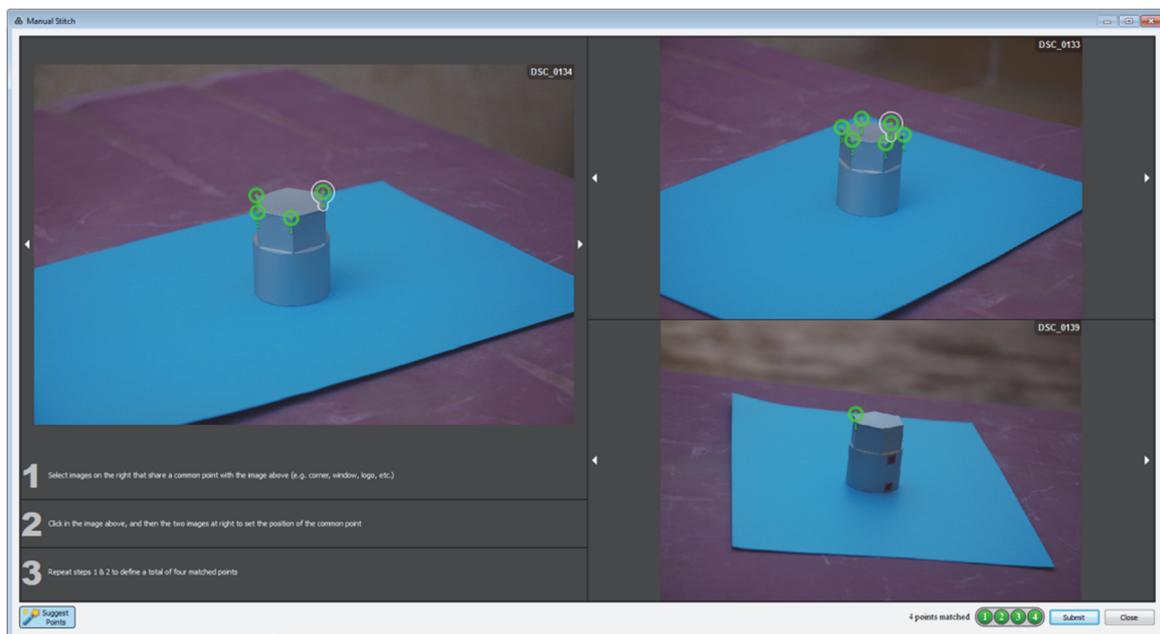
**Figura 4. Detalle ampliado de la pieza 1 reconstruida**



Además del resultado final, las imágenes del conjunto empleadas para la reconstrucción son mostradas en la parte inferior de la aplicación, indicando mediante una señal de advertencia cuáles han sido descartadas por no haberse encontrado coincidencias.

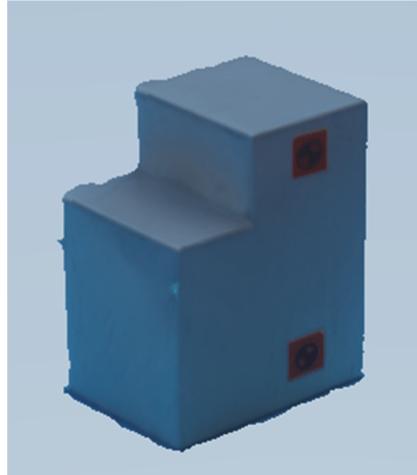
Una función adicional que ofrece 123D Catch es la posibilidad de conectar puntos de control entre distintas fotografías, si estas no han sido seleccionadas para la reconstrucción del objeto. En el caso de la pieza 2, se ha recurrido a esta función procediendo a conectar puntos de control entre las fotografías para conseguir una mejor reconstrucción del objeto (Fig. 5).

**Figura 5. Pantalla para conexión de puntos de referencia**



Una vez el objeto reconstruido es el adecuado debemos limpiar aquellas partes del entorno que rodean el objeto (Fig. 6), tras lo cual ya se puede exportar el modelo a los formatos OBJ, FBX y DWG. En este estudio los modelos se exportaron a OBJ para poder importarlo posteriormente al software MeshLab versión 1.3.3.

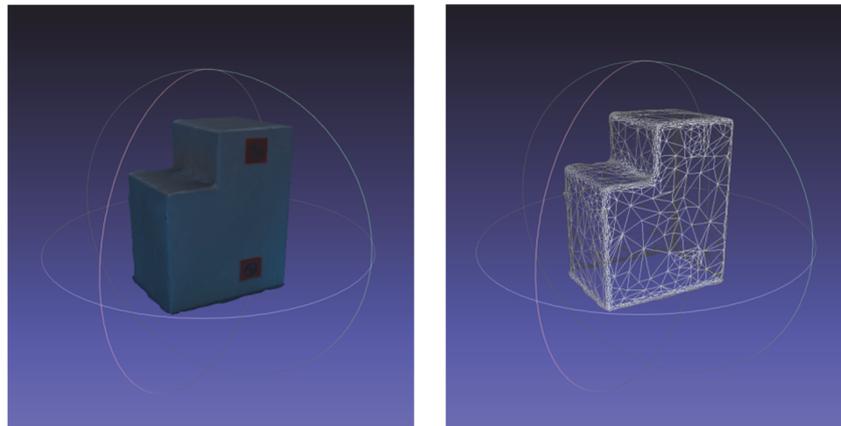
**Figura 6. Modelo virtual pieza 1 sin el entorno**



### 3.3 MeshLab

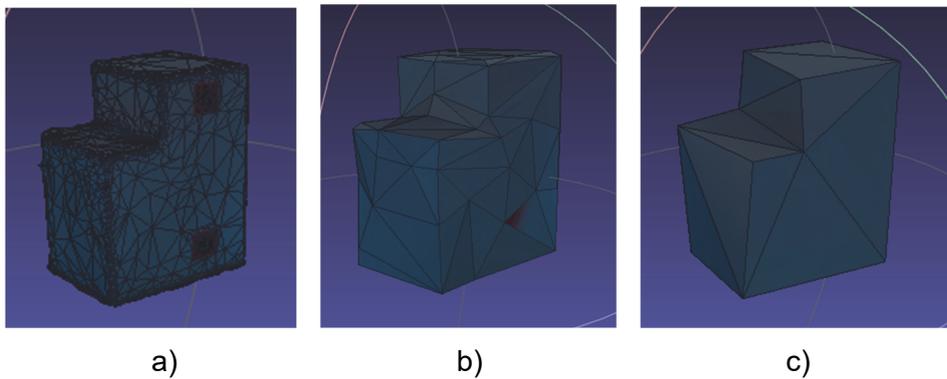
Una vez importado el objeto al software MeshLab, entre las muchas posibilidades que ofrece, se encuentra la opción de optimizar la malla del modelo y realizar mediciones en la pieza (Fig. 7).

**Figura 7. Distintas visualizaciones de la pieza 1 dentro del programa MeshLab**



Si es necesario optimizar la pieza en cuanto al número de triángulos para reducir datos y mejorar el rendimiento computacional, existe una opción denominada “Quadric Edge Collapse Decimation” donde se puede reducir el número de caras en aquellos modelos que lo requieran. En la figura 8 se muestra un ejemplo de la utilización de esta función con la pieza 1 de este estudio, llevando una reducción de 1686 triángulos a 100, y otra reducción a 20. Se recomienda siempre buscar un equilibrio entre el número de triángulos y la definición de la pieza.

**Figura 8. Pieza 1 tras reducción del número de triángulos: a) Pieza original con 1686 triángulos, b) reducción a 100 triángulos, c) reducción a 20 triángulos**



Por otro lado, para la obtención de medidas en el programa MeshLab, es necesario obtener primero un factor de escala. Para calcular este factor de escala se divide la distancia real, obtenida midiendo directamente en la pieza con un calibre, entre la distancia obtenida en MeshLab de una distancia conocida.

Antes de escanear las piezas se han colocado unas marcas sobre las superficies de las piezas que nos sirven de referencia para las mediciones (Fig. 9).

**Figura 9. Marcas sobre las piezas reales**



Una vez obtenido el factor de escala dentro de un modelo, se puede proceder a realizar cualquier medición sobre la pieza (Fig. 10). Como se puede comprobar en la tabla 1, se han obtenido diferentes factores de escala en las tres piezas seleccionadas, por lo que es preciso realizar este proceso de forma independiente para cada pieza del estudio.

**Figura 10. Mediciones de las piezas dentro del programa MeshLab**



**Tabla 1. Distancias sobre marcas para obtener factor de escala en cada pieza**

Objeto	Distancia entre marcas pieza real (mm)	Distancia MeshLab modelo virtual (mm)	Factor de escala
Pieza 1	35.8	3.3557	10.668
Pieza 2	21.2	4.0583	5.223
Pieza 3	29.4	2.6208	11.217

Nota: El factor de escala se obtiene al dividir la distancia entre las marcas en la pieza real y la distancia obtenida en MeshLab sobre el modelo virtual.

Finalmente, el programa MeshLab ofrece la posibilidad de exportar a varios formatos.

Uno de los propósitos de obtener modelos virtuales es su reproducción mediante impresión 3D, también llamada fabricación por adición. Este proceso consiste en fabricar un objeto sólido tridimensional de casi cualquier forma a partir de modelos digitales en formato STL. El formato STL es un archivo digital que permite definir la geometría de los objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que sí incluyen otros formatos CAD. Es el formato estándar para las tecnologías de fabricación aditiva. Utiliza una malla de triángulos cerrada para definir la forma de un objeto. Cuanto más pequeños son estos triángulos, mayor será la resolución del fichero final. En este sentido, MeshLab nos puede ayudar para optimizar la malla de nuestro modelo y exportarlo directamente a STL.

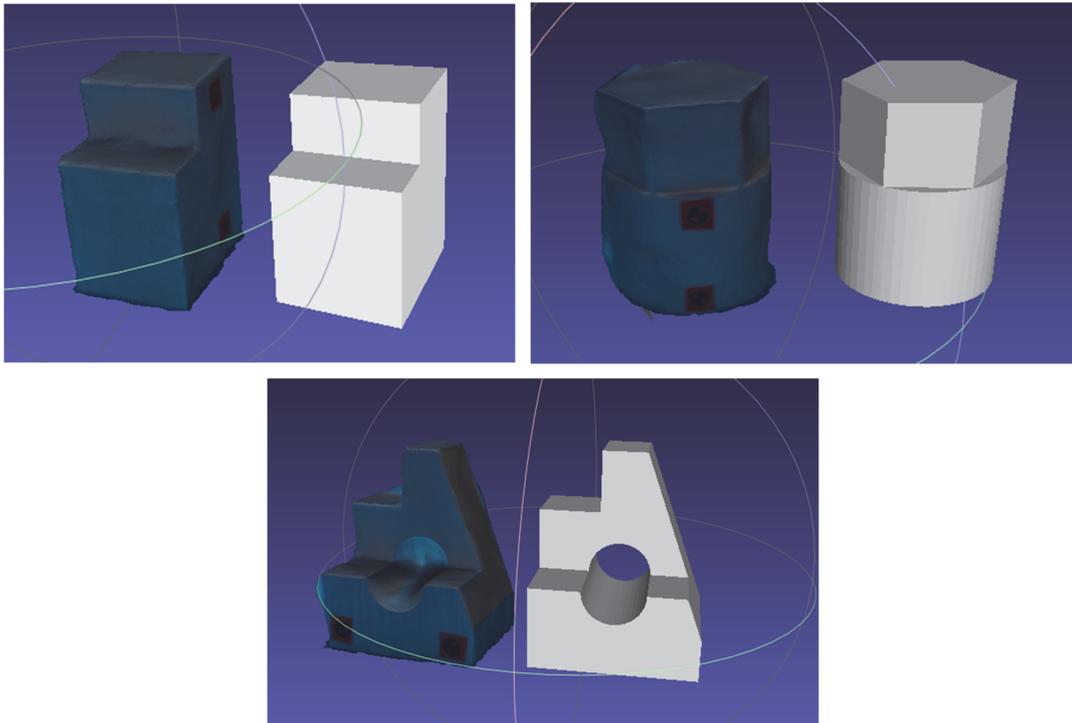
#### 4. Resultados

Para la obtención de unos modelos de reconstrucción 3D aceptables, se han realizado diferentes pruebas durante la etapa de toma de fotografías. Como resultado de este proceso se destacan algunos parámetros que han resultado de gran importancia para poder obtener unas buenas reconstrucciones:

- Una buena iluminación de la pieza y el entorno. En el caso del presente estudio, las fotografías se han realizado en el exterior, con luz natural.
- Sin flash. Es recomendable no utilizar flash, sobre todo cuando las piezas son de textura brillante.
- Contraste entre la pieza y la base. Dependiendo del color de la pieza, se obtienen mejores resultados cuando hay un contraste evidente entre el color de la pieza y el color de la base.
- Referencias. Para una buena conexión entre las fotografías debe haber en el entorno y en la pieza elementos de referencia. En este estudio, el papel de color azul que sirve de soporte a las piezas ofrece un contraste de colores que sirve para marcar unas referencias con más intensidad.
- Para piezas brillantes o con superficies reflectantes puede ser apropiado utilizar un spray a base de polvo blanco para convertirlas en superficies mate.

A continuación, se muestra una comparativa entre los tres objetos escaneados y reconstruidos tridimensionalmente con los objetos modelados posteriormente mediante el software SolidWorks (Fig. 11).

**Figura 11. Comparativa entre los dos modelos virtuales de las piezas 1, 2 y 3**



Comparando los resultados de los tres objetos se puede concluir que la reconstrucción obtenida es bastante aceptable. Si se comparan con los objetos modelados con SolidWorks, se puede apreciar falta de definición en algunas partes, como por ejemplo los agujeros, pero resulta suficiente para un proceso de estudio por parte de estudiantes de ingeniería.

De los procesos de escaneado y reconstrucción 3D a partir de imágenes destacan varias características que las hacen muy apropiadas para su utilización como herramientas didácticas. En la Tabla 2 se muestra una comparativa con otros procesos de escaneado que se pueden considerar convencionales y más profesionales.

**Tabla 2. Comparativa entre el proceso de escaneado a partir de imágenes y el escaneado 3D convencional**

Características	Escaneado a partir de imágenes	Escaneado 3D convencional (laser/palpador)
Coste	Gratuito	Elevado (Depende de cada tipo)
Profesionalidad	No	Si
Conocimientos previos	No requiere	Instrucciones de cada fabricante
Facilidad de uso	Si	Depende de cada tipo
Tiempo de ejecución	Corto	Medio/Largo
Apariencia realista de los objetos escaneados	Aceptable	Buena (Depende de cada tipo)
Resolución de los objetos escaneados	Aceptable	Buena (Depende de cada tipo)

## 5. Discusión

A un estudiante de ingeniería se le enseñan métodos convencionales de modelado para obtener objetos virtuales tridimensionales para luego fabricarlos posteriormente con el proceso más adecuado. Hoy en día, la ingeniería inversa es utilizada en múltiples ámbitos profesionales que impulsan a desarrollar distintos procesos para la obtención de objetos virtuales a partir de objetos reales. Es innegable la importancia que tiene el aprendizaje de este tipo de procesos de obtención de datos para los estudiantes, y si este proceso de aprendizaje es con recursos y herramientas accesibles, gratuitas, y fáciles de manejar, el valor se incrementa.

Este estudio es una muestra de la utilización de aplicaciones de código abierto como herramientas didácticas dentro de un proceso de ingeniería inversa. Este tipo de prácticas es solo una iniciación a este proceso, lo ideal sería contar con herramientas más sofisticadas y profesionales, pero no siempre se poseen los recursos y conocimientos para acceder a ellas.

## 6. Conclusiones

En el presente estudio se ha realizado una comparativa de tres piezas a las cuales se les ha realizado un escaneado y reconstrucción 3D por imágenes; éste método llamado modelado y renderizado 3D basado en la imagen (MR3DBI), utiliza un conjunto de fotografías en 2D para generar un modelo tridimensional. La herramienta elegida, por ser de las más utilizadas en la actualidad y ofrecer un alto porcentaje de éxito, es Autodesk 123D Catch. Para el proceso de edición de malla y medición se ha utilizado MeshLab, software libre muy versátil y con muchas opciones de edición de malla.

Las reconstrucciones tridimensionales obtenidas a partir del escaneado 3D por imágenes pueden tener múltiples aplicaciones en distintos campos como por ejemplo la ingeniería. Se pueden obtener objetos virtuales aceptables para realizar las simulaciones requeridas en un proceso de diseño, analizar características y propiedades superficiales de cualquier tipo de pieza, etc. Además, en este tipo de herramientas no existe un gran rigor en cuanto a la precisión de los equipos, pero sí destaca su facilidad de manejo, bajo coste y flexibilidad, características que las hacen muy apropiadas para el ámbito docente como herramienta didáctica. Más concretamente, destaca la posibilidad de poder usarlo en la docencia con la metodología a distancia.

A lo largo de la comunicación se han presentado una serie de prácticas que permiten que los estudiantes puedan aprender el proceso de escaneado y reconstrucción tridimensional de objetos a partir de imágenes y su exportación a distintos formatos según la necesidad que requiera la pieza, dentro de un proceso de ingeniería inversa. Utilizar este tipo de herramientas prepara a los estudiantes en nuevas tecnologías y aplicaciones que cada vez se están implantando más en todos los ámbitos profesionales de la sociedad. Las universidades deben estar preparadas hacia estos nuevos retos y ofrecerlas como complemento en su formación académica.

## 7. Referencias

- Camacho Peñalosa, M.E., Masero Moreno, I., García Moreno, M.P., Vázquez Cueto, M.J., & Zapata Reina, A. (2008). Motivar a la autoevaluación y el autoaprendizaje de las Matemáticas a través de las TIC. En *V Jornadas de Innovación Universitaria* Villaviciosa de Odón (Madrid): Universidad Europea de Madrid.
- Cavas-Martínez, F., Fernández-Pacheco, D.G., Sánchez-Lozano, J.M., & Conesa, J. (2012). Mejora de la docencia en proyectos de ingeniería mediante la integración de tics de libre

- acceso. En *Proceedings from the 16th International Congress on Project Management and Engineering (AEIPRO 2012)* (pp. 2492-2500). Valencia: AEIPRO.
- Cavas Martínez, F., Pérez-Sánchez, C.A., Adrián-Sáez, J., Cañavate, F.J.F., Nieto, J., & Fernández-Pacheco, D.G. (2014). Empleo de imágenes digitales para reconstrucción tridimensional de componentes mecánicos. En *Proceedings from the XVIII International Congress on Project Management and Engineering (AEIPRO 2014)* (pp. 1874-1883). Alcañiz, España: AEIPRO.
- Cervera, O., Moya, A., Querol, L., Planells, A., Pérez, C., & Montell, R. (2012). Técnicas de modelado tridimensional y su aplicación en la auralización de espacios. En *VIII Congreso Ibero-Americano de Acústica* Évora, Portugal:
- Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., & Ranzuglia, G. (2008). MeshLab: An open-source mesh processing tool. En *6th Eurographics Italian Chapter Conference 2008* (pp. 129-136). Salerno:
- Debevec, P.E., Taylor, C.J., & Malik, J. (1996). Modeling and rendering architecture from photographs: A hybrid geometry- and image-based approach. En *Proceedings of the 1996 Computer Graphics Conference (SIGGRAPH 96)* (pp. 11-20). New Orleans, LA, USA:
- Lerma, J.L., Navarro, S., Seguí, A.E., & Cabrelles, M. (2014). Range-Based Versus Automated Markerless Image-Based Techniques For Rock Art Documentation. *The Photogrammetric Record*, 29, 30-48.
- Mateos Quintanilla, A., Martín Lerones, P., Gómez García-Bermejo, J., & Zalama Casanova, E. (2001). Aplicación de un escáner 3D a fines didácticos. En *XXII Jornadas de Automática* Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Oliveira, M.M. (2002). Image-Based Modeling and Rendering Techniques: A Survey. *Revista de Informática Teórica e Aplicada (RITA)*, 9, 37-66.
- Prados Salazar, J.C., Melguizo Alonso, C., León, A., Botella, M., Ortiz, R., Rama, A.R., Hita, F., Vélez Fernández, C., Madeddu, C., & Aránega Jiménez, A. (2008). Desarrollo de representaciones volumétricas como metodología docente para el autoaprendizaje en el Área de Anatomía. En *V Jornadas de Innovación Universitaria* Villaviciosa de Odón (Madrid): Universidad Europea de Madrid.
- Santagati, C., & Inzerillo, L. (2013). 123D Catch: Efficiency, Accuracy, Constraints and Limitations in Architectural Heritage Field. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2, 263-290.
- Santamaría, J., & Sanz, F. (2013). 3D Land modelling from photos. En *VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas* (pp. 1787-1792). Madrid: Sociedad Española de Ciencias Hortícolas.
- Shum, H.-Y., & Kang, S.B. (2000). Review of image-based rendering techniques. En *Visual Communications and Image Processing 2000* Bellingham, WA, United States: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers.
- Sinha, A. (2008). Preliminary assessment of different 3D scanning and reverse engineering tools for undergraduate projects. En *2008 ASEE Annual Conference and Exposition* Pittsburg, PA:
- Sinha, S.N., Kopf, J., Goesele, M., Scharstein, D., & Szeliski, R. (2012). Image-based rendering for scenes with reflections. *ACM Trans Graphics*, 31.
- Venkatesh, S., Ganeshkar, S.V., & Ajmera, S. (2012). Image-based 3D modelling: a simple and economical technique to create 3-D models of the face. *International Journal of Health Sciences and Research*, 2, 93-99.