

Fotogrametría digital automatizada y aprendizaje inicial del Dibujo de Arquitectura

Automated Digital Photogrammetry and Initial Learning of Architectural Drawing

Moya-Olmedo, Pilar; Sobrón Martínez, Luis de; Sotelo-Calvillo, Gonzalo;
Martínez Díaz, Ángel

Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, España.
pilar.moya.olmedo@upm.es; luis.desobron@upm.es; gonzalo.sotelo@upm.es; angel.martinez@upm.es

Abstract

After other previous proposals for educational innovation, in which it was found that the early collaborative implementation of specific technologies related to architectural surveying led to an improvement in the acquisition of fundamental concepts related to the appropriation and graphic description of form, in a new experience carried out in this academic year 2023-2024 we wanted to deepen this approach and check whether it also leads to a similar improvement in the assimilation of graphic skills in relation to more complex architectural elements in the initial stages of Architectural Drawing.

Keywords: *architectural drawing, teaching innovation, photogrammetry, surveying, graphical thinking.*

Thematic areas: *educational research, graphic ideation, active methodologies-project-based learning (MA-ABPr), cooperative learning.*

Resumen

Después de otras propuestas anteriores de innovación educativa, en las que se pudo comprobar que la temprana implementación colaborativa de tecnologías específicas relacionadas con el levantamiento arquitectónico conducía a una mejora en la adquisición de conceptos fundamentales relacionados con la apropiación y descripción gráfica de la forma, en una nueva experiencia realizada en este curso 2023-2024 se ha querido profundizar en este planteamiento y comprobar si conduce también a una mejora semejante en la asimilación de competencias gráficas en relación con elementos arquitectónicos más complejos en las etapas iniciales del Dibujo de Arquitectura.

Palabras clave: *dibujo de arquitectura, innovación docente, fotogrametría, levantamiento, pensamiento gráfico.*

Bloques temáticos: *investigación educativa, ideación gráfica, metodologías activas-aprendizaje basado en proyectos (MA-ABPr), aprendizaje cooperativo.*

Resumen datos académicos

Titulación: Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Nivel/curso dentro de la titulación: Primero

Denominación oficial asignatura, experiencia docente, acción: Geometría y Dibujo de Arquitectura 2. Entre la arquitectura construida y la nube de puntos: fotogrametría digital para la comprensión estructurada del hecho arquitectónico aumentada

Departamento/s o área/s de conocimiento: Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica

Número profesorado: 10

Número estudiantes: 240

Número de cursos impartidos: 2

Introducción

La Universidad Politécnica de Madrid (UPM) ofrece, dentro de sus programas académicos, el Grado en Fundamentos de la Arquitectura, que, junto con el Máster en Arquitectura, habilitan para el ejercicio de la profesión de arquitecto/a. En esta comunicación se presenta el resultado de una propuesta de innovación educativa para la asignatura Geometría y Dibujo de Arquitectura 2, desarrollada en cinco sesiones a lo largo de las primeras semanas de la asignatura el pasado curso 2023-2024. Experiencias similares a la que aquí se presenta ya se implementaron en cursos anteriores con resultados que el alumnado y los docentes consideraron positivos.

En la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM), la asignatura de Geometría y Dibujo de Arquitectura 2 (GDA2) es obligatoria, de carácter básico, se incluye dentro del módulo Propedéutico-Dibujo, forma parte de la materia Expresión Gráfica Específica, y se imparte durante el segundo semestre del primer año del grado con una carga de 6 créditos ECTS y una dedicación presencial de 6 horas semanales en dos sesiones de clase. En el mismo semestre se imparten simultáneamente con las asignaturas Dibujo, Análisis e Ideación 2 (DAI2), Proyectos 1, Cálculo e Historia del Arte y de la Arquitectura. En el primer semestre del curso y del grado también se incluyen otras dos asignaturas de la materia Expresión Gráfica: Geometría y Dibujo de la Arquitectura 1 (GDA1) y Dibujo y Análisis e Ideación 1 (DAI1).

La asignatura GDA2 aborda el Dibujo de Arquitectura entendido como analogía operativa de la realidad. Plantea modos de capturar esa realidad y las operaciones básicas que permiten construir gráficamente la arquitectura, existente o imaginada, con un énfasis en la forma y el espacio, considerando su medida y su tamaño mediante los conceptos gráficos de geometría y escala. También se exploran diversos modos y medios para transmitir esta información, ajustándola a diferentes niveles comunicativos.

El método didáctico de la asignatura explora la práctica guiada del dibujo, con tres objetivos principales: utilizar criterios gráficos básicos para representar objetos arquitectónicos de distintas complejidades; abordar los problemas de expresión y comunicación gráfica de la arquitectura, tanto como objeto material en su entorno como en otros aspectos no visibles; y desarrollar una narrativa gráfica completa que capture lo esencial de la forma arquitectónica, incluida su experiencia.

Como medios gráficos se utiliza el dibujo a lápiz a mano alzada, semi-asistida o asistida en los ejercicios realizados en el aula, para anticipar, plantear y comprender los problemas espaciales. Fuera del aula, el alumnado maneja CAD bidimensional, con apoyos en el entorno tridimensional, para resolver los diferentes trabajos del curso.

Las competencias específicas de la materia que el alumnado debe adquirir al finalizar el curso son:

- CE1 Aptitud para aplicar los procedimientos gráficos a la representación de espacios y objetos.
- CE2 Aptitud para concebir y representar los atributos visuales de los objetos y dominar la proporción y las técnicas del dibujo, incluidas las informáticas.
- CE3 Conocimiento adecuado y aplicado a la arquitectura y al urbanismo de los sistemas de representación espacial.
- CE4 Conocimiento adecuado y aplicado a la arquitectura y al urbanismo del análisis y teoría de la forma y las leyes de la percepción visual.

- CE5 Conocimiento adecuado y aplicado a la arquitectura y al urbanismo de la geometría métrica y proyectiva.
- CE6 Conocimiento adecuado y aplicado a la arquitectura y al urbanismo de las técnicas de levantamiento gráfico en todas sus fases, desde el dibujo de apuntes a la restitución científica.
- CE10 Conocimiento adecuado y aplicado a la arquitectura y al urbanismo de las bases de la topografía, hipsometría y cartografía y las técnicas de modificación del terreno.

La experiencia que aquí se presenta incide fundamentalmente en la mejora en la adquisición de las competencias CE1, CE2 y CE6.

1. Un problema de partida: la visualización y asimilación de conceptos básicos de dibujo de Arquitectura

El alumnado de Dibujo de Arquitectura enfrenta un intenso proceso de adquisición de conocimientos en un periodo limitado de tiempo. Debe desarrollar la habilidad de utilizar un tipo de dibujo particular que le permita comprender, conceptualizar y expresar ideas sobre la arquitectura, empleándolo como un lenguaje gráfico para estructurar su pensamiento arquitectónico.

El profesorado es consciente de la complejidad que implica integrar el pensamiento con la representación arquitectónica, así como de la necesidad de vincular estos procesos con las operaciones que permiten concretar y codificar su comunicación. Además, entiende que este desafío se vuelve aún mayor cuando se trabaja con un objeto arquitectónico, sea complejo o no, ya que la visión y comprensión espaciales se tornan fundamentales. Para los docentes de dibujo del primer año de arquitectura, es común encontrarse con estudiantes que no pueden plasmar sus ideas a través del dibujo y que, además, creen que el ordenador lo resolverá todo por sí solo. Convencerlos de la importancia de aprender y usar un nuevo lenguaje, el dibujo, se convierte en una tarea difícil (Álvaro-Tordesillas y Montes, 2014).

La componente de maduración necesaria para el aprendizaje de un lenguaje específico, con su consiguiente e imprescindible implementación práctica; hace que el factor tiempo sea un elemento esencial en la programación optimizada de actividades, algo que desde la puesta en marcha del plan vigente y la disminución del tiempo disponible, se ha detectado implica una clara dificultad en la asimilación de conceptos fundamentales que posibiliten un desarrollo autónomo del alumnado y su consiguiente maduración personal.

Esos conceptos esenciales, que es necesario adquirir en las etapas iniciales del aprendizaje para luego trabajar con representaciones avanzadas de la arquitectura, han sido objeto de experiencias docentes en los cursos precedentes, incorporando modificaciones en el carácter de los modelos propuestos y en las aproximaciones a las que se sometieron.

2. Objetivos

El objetivo principal con la introducción de una tecnología avanzada que hasta ahora no se empleaba hasta estadios más avanzados de su formación, no es tanto que el alumnado adquiera habilidades y competencias que amplíen su campo profesional y le faciliten el acceso a un mercado laboral todavía distante, sino que sirvan como vehículo para facilitar la adquisición de conceptos básicos y el entendimiento de las operaciones fundamentales del Dibujo de Arquitectura. Secundariamente, permitirá que el alumnado conozca la existencia y

operatividad de estas herramientas. Son muchos los autores que confirman cómo persiste cierta reticencia a incorporar herramientas avanzadas en los sistemas de trabajo en las escuelas de arquitectura, por el temor de que puedan perjudicar el desarrollo de la representación o del diseño (Maldonado, 2016); pero los docentes del área de Expresión Gráfica de esta escuela opinan que la universidad no debe alejarse de la realidad profesional, que cada vez requiere más estos medios, y creen que el desconocimiento de estas herramientas no implicará una mayor habilidad o dedicación en el dibujo arquitectónico. Aunque son muchos los estudios que inciden en que tras el entusiasmo por el uso de las herramientas CAD en los últimos años ha surgido una creciente preocupación por la pérdida de creatividad (Leandri et al., 2022b), a la vez también se sostiene que determinadas herramientas sí debieran utilizarse siempre como complemento para mostrar la realidad del resultado arquitectónico (Leandri et al., 2022a).

Tras una experiencia previa formalizada como Proyecto de Innovación Educativa con resultados positivos, se decidió dar un paso más en la integración de la fotogrametría digital automatizada como herramienta del primer trabajo del curso para la asignatura GDA2. En esta ocasión, se asumen los objetivos específicos planteados en la experiencia anterior: la asimilación de la necesidad de conocer y emplear conceptos estructurantes del pensamiento gráfico en el proceso de construcción del dibujo de la arquitectura, distinguiendo su cualidad y jerarquía; el conocimiento y utilización de conceptos fundamentales en el Dibujo de Arquitectura de control formal, medida, escala, operaciones de corte y proyección y codificación; la distinción entre medios y fines en el dibujo de arquitectura reconociendo la necesidad de su consideración crítica; el conocimiento de poner en práctica el concepto de Levantamiento Arquitectónico; y el conocimiento y utilización de diferentes formas de captura dimensional de una realidad arquitectónica.

A los objetivos anteriores se suma ahora el que caracteriza esta nueva propuesta pedagógica: optimizar la asimilación de la relación entre forma y construcción, y la conceptualización y codificación de elementos arquitectónicos donde se han detectado problemas de comprensión generalizada. Por tanto, la intención de los docentes, reconociendo la fotogrametría digital automatizada como una herramienta eficaz para mejorar la adquisición de competencias y habilidades del alumnado, dado que ofrece ventajas pedagógicas que ayudan a potenciar la capacidad de visualización espacial, era aplicar ésta al contexto de la construcción gráfica y comunicación de elementos arquitectónicos ya existentes. A todo esto, habría que añadir la premisa de que la incorporación de herramientas avanzadas, incluso en una etapa tan inicial del aprendizaje, solo puede aumentar la motivación y el interés del alumnado por la materia.

Además de todo lo mencionado, es importante destacar que la introducción en el trabajo con el alumnado de algo normalmente reservado para niveles más avanzados de estudio, la fotogrametría digital automatizada, en un estadio tan inicial, permitiría incidir en la motivación por la familiaridad con el medio utilizado, sus propios dispositivos móviles, la facilidad de uso del software, el atractivo del resultado y el aprendizaje de diversas técnicas digitales, que relaciona directamente su formación con su futuro profesional (Almagro, 2000).



Objetivos generales
 Conocer y empezar a utilizar los conceptos fundamentales del Dibujo de Arquitectura.

Objetivos específicos

- Comenzar a describir la arquitectura a través de plantas, alzados y secciones, empleando las variables gráficas básicas, y utilizando de forma adecuada la escala física del dibujo en relación a la escala conceptual.
- Iniciar el contacto con las operaciones de manipulación del objeto y con los procesos gráficos de control formal, que permiten establecer la relación de analogía entre la realidad construida y el dibujo.
- Abstracter las características formales de un objeto arquitectónico.
- Conocer y utilizar el concepto de traza.
- Explorar los procedimientos elementales de la práctica del levantamiento y determinar mediante el dibujo a escala la forma de un fragmento arquitectónico sencillo a partir de la toma de datos sobre una realidad construida.
- Entrar en contacto con las técnicas de levantamiento fotogramétrico digitalizado.
- Acercarse a la representación tridimensional, explorando sus posibilidades para dar a conocer las características volumétricas y espaciales de la arquitectura, al realizar algunas operaciones de corte elementales.

Desarrollo del trabajo y modo de realización

- Primera aproximación al modelo a través de la percepción (fotografías) elaborando dibujos de apunte a mano alzada atendiendo a la forma y proporción del objeto.
- Toma de contacto con el modelo y toma de datos in situ.
- Procesado de la captura de imágenes y obtención de un modelo 3D mediante fotogrametría digital automatizada.
- Establecimiento de la estructura formal del objeto, definiendo sus cualidades geométricas y métricas, y determinando las trazas en el plano horizontal y vertical que ordenan el modelo.
- Construcción coordinada de plantas secciones y alzados previa selección de planos de corte.
- Elaboración de una descripción integral del edificio, desde su construcción gráfica secuenciada (traza, estructura, cerramiento, cubierta,...) en los diferentes sistemas de representación planteados.
- Codificación y edición de los dibujos utilizando criterios convencionales.

El trabajo de modelo 1 se desarrollará de forma continua y será pautado por el profesorado a lo largo de cuatro semanas. En clase se dibujará a lápiz y se utilizará el ordenador para determinadas actividades. En casa se dibujará por ordenador.

Fig. 1 Enunciado entregado al alumnado para la realización del trabajo con Fotogrametría.
 Fuente: Profesorado GDA2 (2024)

3. Bases pedagógicas

La experiencia planteaba fundamentalmente la introducción del alumnado en el uso de la fotogrametría digital automatizada (Almagro, 2019; Alonso y Aliberti, 2019), manejando ciertos recursos de tecnología y software avanzados, así como el de los procesos que implican, como el manejo de nubes de puntos y CAD, reconociendo las relaciones entre ellos y sus potencialidades.

Además, el planteamiento de la experiencia favorecía dinámicas de *Aprendizaje basado en retos* (Fidalgo et al., 2017), así como de *Aula invertida* (Sánchez et al., 2019; López et al., 2021). El trabajo colaborativo destinado a la consecución de un reto reconocido y colectivo mejora la comunicación entre el alumnado, contribuyendo a la adquisición de competencias.

4. Contenidos docentes

Con la implementación de esta experiencia, se buscó aprovechar enfoques y métodos comprobados para vincular el hecho arquitectónico con elementos específicos de una arquitectura ya construida, todos a través del dibujo. Además, en línea con propuestas anteriores, la actividad se diseñó como introducción previa a un Proyecto de Innovación

Educativa independiente desarrollado después, con el que se buscaba un acercamiento con el mismo modelo al proceso del proyecto arquitectónico mediante la Realidad Aumentada.

Los contenidos de la experiencia realizada tomaron como herramienta el conocimiento y uso de una tecnología fotogramétrica a la que, hasta ahora, el alumnado accedía en estadios avanzados de sus estudios o en su etapa profesional. Tanto la relativa facilidad de manejo que estos programas han adquirido en los últimos años como la accesibilidad de los medios empleados permiten plantear su uso buscando una optimización en la adquisición de competencias gráficas (Tucci et al. 2018). Al ser una técnica de toma de datos que produce unos resultados muy extensos, hay que implementar técnicas selectivas y criterios para su uso que formen un pensamiento crítico estructurado que exige un cuerpo conceptual como necesidad para el alumnado. Todo ello requiere además la necesaria distinción entre medios y fines, inherente a la construcción del dibujo de arquitectura.

La dinámica de la experiencia y los modelos pedagógicos empleados, pretendieron favorecer la adquisición de determinadas competencias generales más allá de las específicas de la expresión gráfica. Así, se pretendió la optimización del escaso tiempo disponible en el plan de estudios vigente para formar y consolidar en los alumnos un pensamiento gráfico maduro y estructurado, que fuera facilitador de la adquisición de otras posteriores competencias durante los años de estudio que trascienden al dibujo.

La introducción al alumnado en uso de la tecnología fotogramétrica permite motivar a los alumnos por su familiaridad con los medios empleados (dispositivos móviles), por la facilidad del manejo del software empleado (*Agisoft Metashape*), por la eficacia y brillantez de los productos resultantes, y por su proyección en su futuro profesional. A la vez, se puede aprovechar la naturaleza de dicha tecnología digital para introducir conceptos básicos relacionados con la apropiación de la forma (sección y proyección); para enfrentar al alumnado con la necesidad de estructurar y manejar selectivamente mucha información, contribuyendo a la formación y maduración de un criterio gráfico; y para explorar un planteamiento docente según el modelo de *Aprendizaje Basado en Retos*, con determinadas situaciones propicias para implementar un modelo de *Aula Invertida*, permitiendo de paso motivar a los docentes con la convicción de que otra enseñanza es posible.

5. Metodología

La actividad se desarrolló tal y como ya se ha dicho, en las primeras semanas del curso. La premisa de partida es el entendimiento del Dibujo de Arquitectura como la construcción de una analogía entre realidad y dibujo. El reto consistió en un levantamiento colectivo de un modelo arquitectónico de escala pequeña y complejidad limitada, pero que permitiría identificar y reconocer elementos arquitectónicos (muros, huecos, carpinterías, cornisas, cubiertas), y sus jerarquías, articulaciones y singularidades concretas (encuentros y transiciones), donde la mayoría del alumnado encuentra dificultades de comprensión, visualización y codificación. Considerando diversos factores, entre ellos el margen de actuación derivado de la marcha del curso y la complejidad de la herramienta, se eligió un modelo relativamente sencillo, obviando numerosos factores que en un empleo riguroso de la fotogrametría se deberían tener en cuenta. Esta simplificación consciente permitió un uso ágil de la herramienta fotogramétrica para cumplir con el objetivo fundamental, que no era tanto alcanzar un uso experto de la misma, sino lograr una introducción motivada al dibujo de arquitectura y al necesario posicionamiento intelectual que el alumnado debe interiorizar para proceder a la construcción gráfica de la arquitectura (Juan y Marcos, 2016).

Teniendo en cuenta las consideraciones previas sobre la complejidad del objeto sobre el que trabajar, se eligió como modelo (modelos) para llevar a cabo la experiencia las garitas de los guardas del Parque del Oeste de Madrid, situadas en una localización próxima a la Escuela de Arquitectura. Se trata de unos cubículos construidos según un mismo patrón, que se encuentran repartidos en varias localizaciones del parque y presentan una arquitectura lo suficientemente elaborada. A pesar de su sencillez, estas garitas no son meros objetos volumétricos o escultóricos, sino que cuentan ya con los principales elementos arquitectónicos y constructivos arquetípicos de un edificio: un espacio interior, unos cerramientos, unos huecos, una cubierta y un encuentro con el terreno, por lo que se consideraron un modelo idóneo para la experiencia. En cuanto a su pequeño tamaño, la elección tuvo en cuenta, tanto la sensación de ser algo abarcable que podría producir en el alumnado, como la pragmática necesidad de simplificar el proceso: dado que la experiencia se realizaría preferentemente con teléfonos móviles, convenía que el modelo fuera compatible con una visualización integral con estos dispositivos.

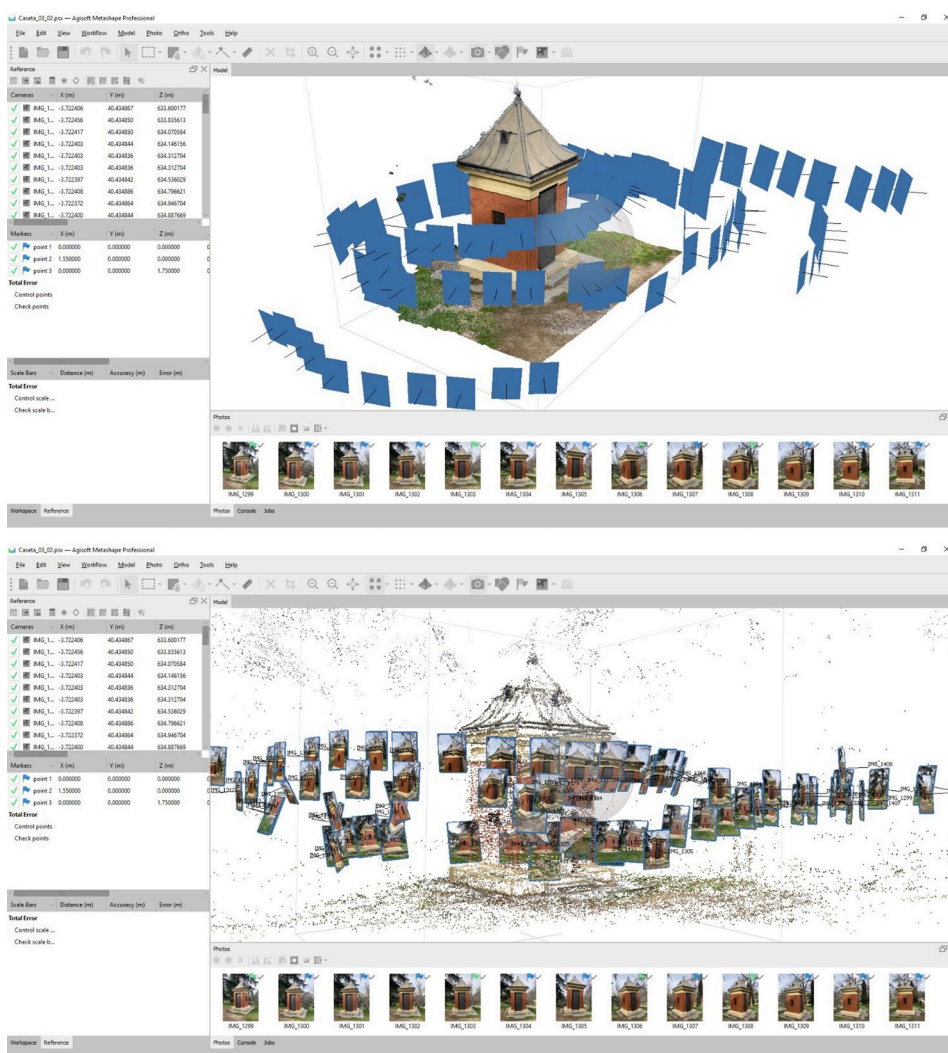


Fig. 2 Modelo elegido para el trabajo con Fotogrametría. Fuente: Alumnado GDA2 (2024)

Para la toma de datos se insistió en la necesidad de emplear medios manuales (cintas métricas, distanciómetros), a los que después se sumarían los medios fotogramétricos; buscando con ello el reconocimiento de sus posibilidades, limitaciones y complementariedad.

Así, tras un primer acercamiento al modelo por medios manuales tradicionales, se dio paso a la introducción de la tecnología fotogramétrica, incluyendo la realización de una sesión de captura de fotografías; el trabajo de toma de datos se realizó como actividad a partir de la sesión 2. Después de la captura dimensional fotogramétrica, en la sesión 3 se realizó en el aula el procesado de sus productos: nube de puntos y modelo 3D o superficie texturizada; para luego exportar el modelo tridimensional a los programas usuales de CAD para realizar determinadas operaciones necesarias para construir la descripción gráfica completa del modelo.

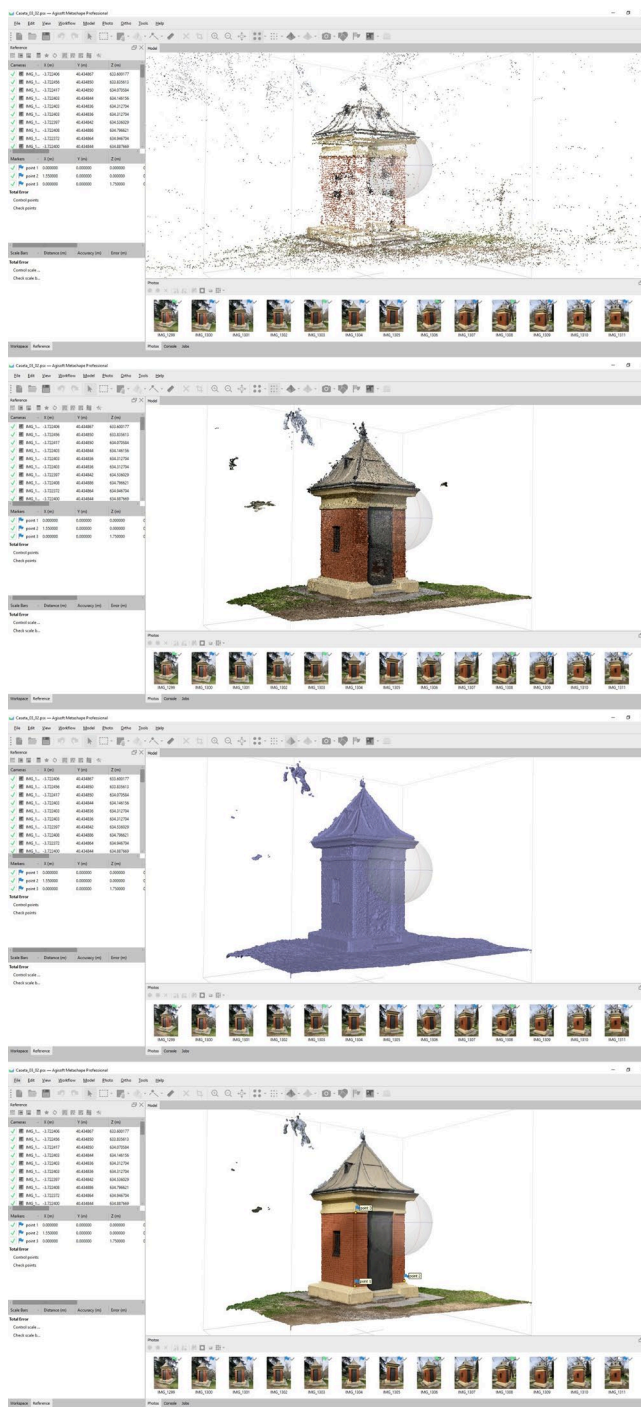


Fig. 3 Distintas fases del trabajo realizado con el programa Agisoft Metashape en la realización de la experiencia.
Fuente: Alumnado GDA2 (2024)

De esta manera, el alumnado obtenía una experiencia conjunta de uso de medios manuales, que se consideran la forma más común de conocimiento (Almagro, 2000), y medios digitales. Ya desde este momento, la mezcla de diferentes medios propició que el alumnado pudiera reconocer sus posibilidades, pero también sus limitaciones y su complementariedad. El levantamiento de estas primeras sesiones sirvió para la exploración y consolidación de conceptos fundamentales del Dibujo de Arquitectura ya supuestamente conocidos, como los sistemas de representación, diédrico -planta y sección-, y para la introducción de otros no tan conocidos: especialmente los relativos a códigos gráficos -sección y proyección- o al control formal.

Posteriormente, el resultado obtenido mediante la fotogrametría, la malla 3D, se exportaría al programa de CAD *Rhino*, para realizar con él operaciones de manejo de superficies. Después, dicho resultado se exportó nuevamente a otro programa de CAD, *AutoCAD*, para con él realizar la construcción de la descripción gráfica del modelo en dos dimensiones primero y la construcción en tres dimensiones, después. Esta parte de la experiencia se realizaría durante las sesiones 4 y 5.

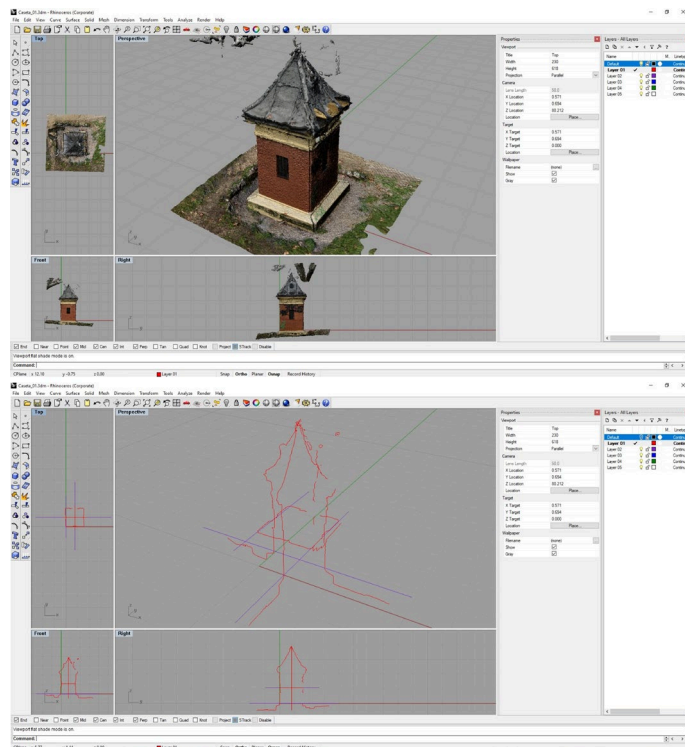


Fig. 4 Distintas fases del trabajo realizado con el programa *Rhino* en la realización de la experiencia.
Fuente: Alumnado GDA2 (2024)

La concreción de esta alternaría el trabajo en grupo en clase o en la toma de medidas (realizado en grupos de 3 alumnos), con el trabajo individual de la última parte de elaboración de la descripción gráfica completa del modelo. Algunas de las actividades se hicieron utilizando técnicas de Aula invertida. La última parte del trabajo más individual se apoyó en preevaluaciones colectivas y autoevaluaciones que obligaron al alumnado a retroceder en el desarrollo de la experiencia incidiendo positivamente en el entendimiento de su aprendizaje (Rodríguez et al., 2018).

Tabla 1. Cronograma de sesiones, actividades y naturaleza de cada una de ellas

semana	sesión	trabajo en clase	trabajo en casa
1	1	presentación aproximación fotogrametría digital <u>reconocimiento y análisis modelo</u>	<u>introducción fotogrametría</u> <u>introducción software fotogrametría</u> <u>primeras fotografías</u>
	2	introducción sistemas representación conceptos diédrico, códigos gráficos y control formal aproximación levantamiento <u>instalación software específico</u> <u>fotogrametría digital</u>	<u>toma de medidas</u> <u>fotografías definitivas</u>
2	3	<u>procesado fotogramétrico</u>	<u>finalizar procesado hasta</u> <u>obtención resultado</u> <u>exportable CAD</u>
	4	<u>construcción descripción gráfica 2D</u> <u>pre-evaluación resultado 2D</u> <u>auto-evaluación resultado 2D</u>	<u>finalizar trabajo hasta</u> <u>obtención resultado CAD</u>
3	5	introducción conceptos axonometría, códigos gráficos, operaciones <u>construcción axonometría</u> <u>pre-evaluación axonometría</u> <u>auto-evaluación axonometría</u>	<u>finalizar trabajo hasta</u> <u>obtención resultado CAD</u>

Leyenda:

actividades de enseñanza magistral

actividades de clase invertida

actividades de trabajo colectivo

actividades de trabajo individual

6. Instrumentos

El procesado fotogramétrico de las imágenes se llevó a cabo mediante el programa *Agisoft Metashape*, seleccionado tanto por su facilidad de uso, su efectividad y la calidad destacada del producto final, como por tratarse de un software de uso libre durante un periodo de prueba de un mes, suficientemente amplio como para poder realizar la actividad propuesta (Cabezos y Cisneros, 2012). Los procesos de corte del modelo 3D y de construcción, a partir de dichos cortes, de la descripción gráfica completa del modelo se realizó con los programas de CAD *Rhinoceros* y *Autocad*, disponibles para el alumnado a través del escritorio virtual de la universidad. Además, *AutoCAD* también está disponible para los estudiantes mediante una versión gratuita que se puede descargar utilizando la cuenta de correo de la universidad.

Además de estas herramientas, para llevar a cabo la experiencia, cada estudiante empleó como instrumento de partida, su propio dispositivo móvil para realizar la captura de imágenes (Niederheiser et al., 2016).

Los estudiantes tuvieron fácil acceso a las herramientas necesarias (teléfonos móviles, tabletas y ordenadores) y a los programas requeridos para la experiencia.

7. Resultados

Con esta experiencia se pretendió aprovechar consideraciones y planteamientos que ya se habían comprobado eficaces, para profundizar en ellos afrontando la introducción de otros conceptos del dibujo de arquitectura, quizá más especializados y menos inmediatos que los pretendidos inicialmente (la apropiación de la forma y su expresión mediante la sección y la proyección), pero también específicos del hecho arquitectónico. Así se persiguió ampliar la intención inicial y asimilar la imprescindible conexión entre forma y construcción, incorporando la identificación y reconocimiento formal de elementos arquitectónicos y de sus jerarquías, articulaciones y singularidades concretas, donde la mayoría del alumnado encuentra dificultades de visualización reconocimiento y codificación.

Al concluir la experiencia, se le consultó al alumnado sobre diversos aspectos de esta. Aunque en este documento se presentarán los resultados correspondientes a uno de los grupos de la asignatura, los resultados no mostraron diferencias significativas en comparación con los otros grupos.

En primer lugar, respecto a los objetivos de la experiencia, una abrumadora mayoría (94,6%) valoró positivamente la incorporación de nuevas tecnologías y también una amplia mayoría, (75,7%), consideró motivador el uso de estas tecnologías como introducción al dibujo de la Arquitectura. También se preguntó sobre si la actividad había ayudado a comprender el proceso de construcción del dibujo de arquitectura y a ponerlo en práctica, el concepto de control formal, el concepto de medida o el concepto de escala; si el uso del software de fotogrametría le había ayudado a comprender el concepto de planta y sección, las operaciones de corte y proyección y ponerlas en práctica, a saber utilizar los códigos gráficos y su jerarquía o a comprender el concepto de levantamiento arquitectónico. Los resultados siempre fueron positivos.

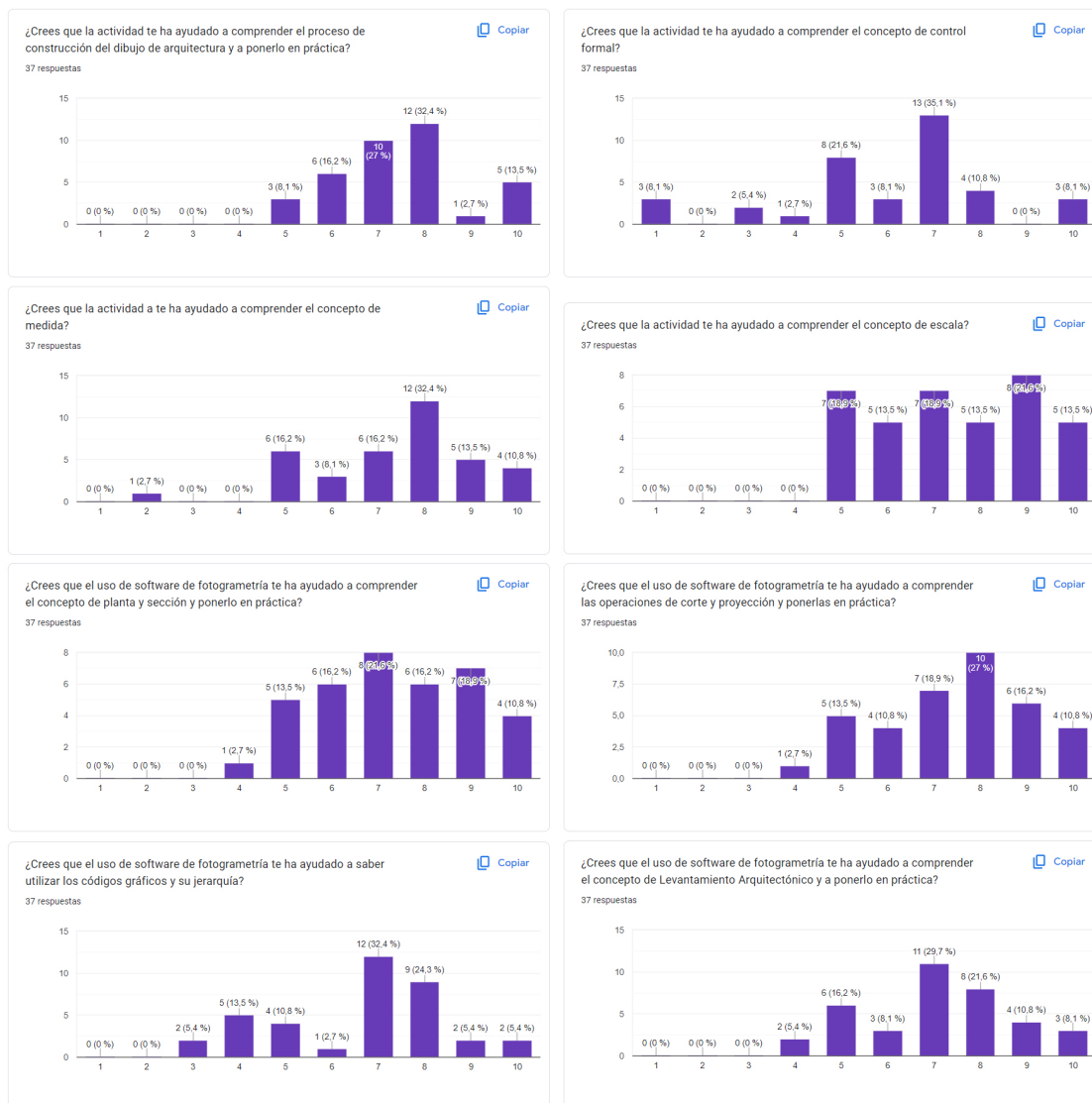


Fig. 5 Resultados obtenidos al preguntar al alumnado por diferentes cuestiones particulares de la actividad realizada con Fotogrametría. Fuente: Profesorado GDA2 (2024)

Después se preguntó sobre el desarrollo de la actividad pidiendo que se valorara sobre la dificultad del manejo del software de fotogrametría escogido, considerándolo un porcentaje amplio dificultoso (59,5%), aunque por el contrario sí se consideraron adecuados el material de apoyo facilitado y las explicaciones del profesorado por una abrumadora mayoría (94,6% y 100%). Finalmente, se consultó si se consideraba que el conocimiento y la aplicación de esta tecnología podrían ser útiles en el futuro, resultando una respuesta favorable por una clara mayoría.

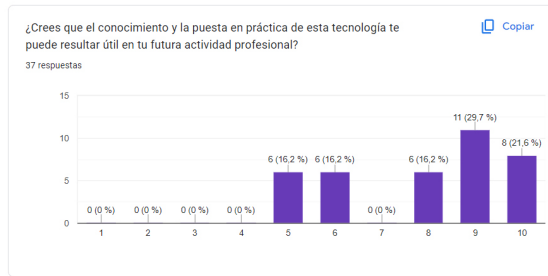


Fig. 6 Resultados obtenidos al preguntar al alumnado por la utilidad de la Fotogrametría a futuro. Fuente: Profesorado GDA2 (2024)

Por su dinámica y los modelos pedagógicos empleados, tanto el *Aprendizaje basado en retos* como el *Aula invertida*, en la experiencia se pretendió además favorecer la adquisición de determinadas competencias generales, como potenciar las habilidades y capacidades para la resolución de problemas, guiando a los alumnos en los procesos de reconocimiento y análisis del problema concreto de generar una descripción gráfica completa y operativa de un elemento arquitectónico real, y en el proceso de búsqueda de una solución a través de los medios y criterios preestablecidos; contribuir al aprendizaje del uso de las TIC, manejando ciertos recursos de programas de fotogrametría, procesado de nubes de puntos y CAD, reconociendo las relaciones entre ellos y sus potencialidades a explorar; reconocer la importancia del trabajo en equipo en la consecución de retos y ser capaz de organizar y planificar las acciones colaborativas necesarias.



Fig. 7 Resultados obtenidos por el alumnado. Fuente: Héctor Alday Jover y Luna Poza Berrocal, alumnos de GDA2 (2024)

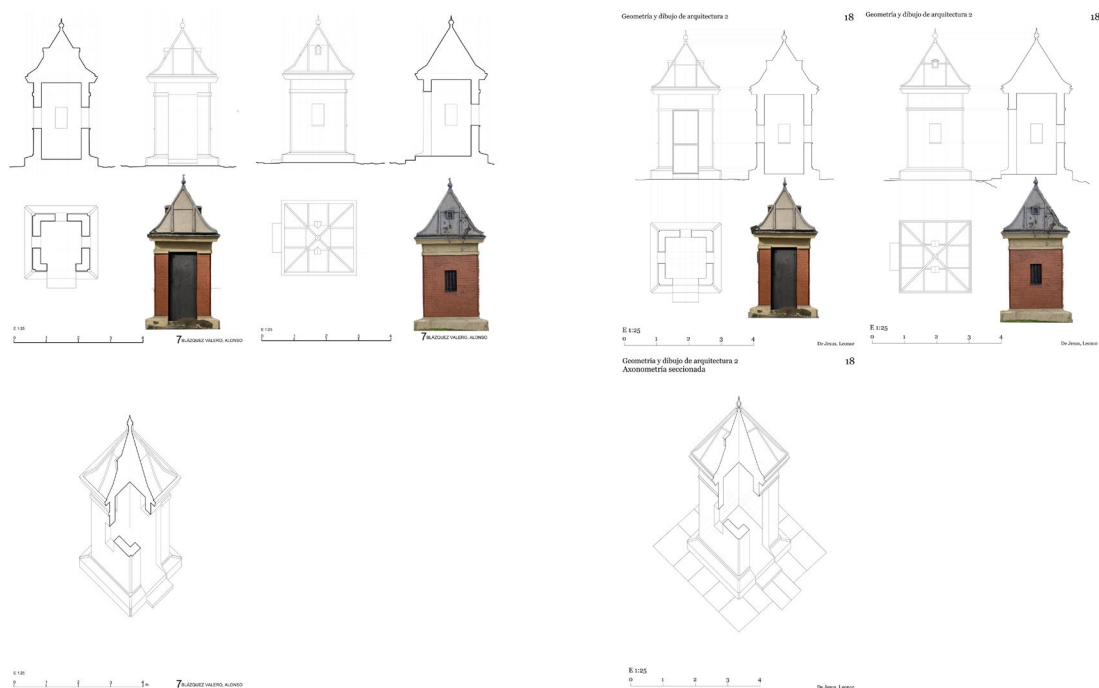


Fig. 8 Entrega final de la experiencia. Fuente: Alonso Blázquez Valero y Leonor de Jesús Schiappa, alumnos GDA2 (2024)

La incorporación de la tecnología descrita contribuyó a la motivación del alumnado ya que, a pesar de su excelente nivel de precisión y calidad, tiene una aproximación no muy exigente para el usuario, es rápida y directa, y los resultados son muy gráficos y de fácil visualización y comprensión.

Por los resultados del alumnado generando una descripción gráfica completa y operativa de un elemento arquitectónico real, parece haberse mejorado, en el tiempo disponible, la comprensión de la forma arquitectónica respecto al hecho constructivo, sus características básicas como sistema, dimensiones, jerarquía y cualidades.

Por otro lado, a partir de las encuestas realizadas al finalizar la experiencia, el alumnado la valoró positivamente y la percibió como una manera de vincular la enseñanza superior con los últimos avances metodológicos y tecnológicos y con el mundo profesional.

El profesorado de la asignatura GDA2 observó que, tras concluir la experiencia, problemas relacionados con la falta de comprensión espacial y los recursos comunicativos en modelos arquitectónicos de mayor complejidad, experimentaron una leve mejoría.

Todo lo anterior constata que las nuevas tecnologías deben considerarse herramientas clave en el aprendizaje de la arquitectura. Esto se basa en la convicción de que la formación de arquitectos exige cada vez más el desarrollo de habilidades multidimensionales que refuercen, entre otras cosas, la imaginación y la capacidad espacial (Darwish et al., 2023).

8. Bibliografía

- Almagro Gorbea, A. 2000. Fotogrametría para arquitectos. El estado de la cuestión. En Ruiz Castrilo, M. I., Regot Marimón, J. M., y Redondo, E. *Actas del VIII Congreso de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Barcelona: Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica I, UPC. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/19821/1/CongresoEGA2000.pdf>
- Almagro Gorbea, A. 2019. Half a century documenting the architectural heritage with photogrammetry. *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, 11: 4-30. <https://doi.org/10.4995/ege.2019.12863>
- Alonso Rodríguez, M. A. y Aliberti, L. 2019. Sobre la fotogrametría automatizada aplicada al estudio de bóvedas. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 24(35): 152–159. <https://doi.org/10.4995/ega.2019.11495>
- Álvaro-Tordesillas, A., y Montes Serrano, C. 2014. El dibujo en la enseñanza de arquitectura: el boceto manual y el modelo fotogramétrico. En: Almeida, P. L., Duarte, M. B., y Barbosa, J. T. (eds.). *DUT'13: Drawing in the University Today*, 399-404. Porto: i2ADS-Instituto de Investigaçao em Arte, Design e Sociedade. https://i2ads.up.pt/wp-content/uploads/2018/01/DUT2013_lo.pdf
- Cabezos Bernal, P. M. y Cisneros Vivó, J. J. 2012. Fotogrametría con cámaras digitales convencionales y software libre. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 17(20): 88-99. <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1407>
- Fidalgo Blanco, A., Sein-Echaluze Lacleta, M. L. y García Peñalvo, F. J. 2017. Aprendizaje Basado en Retos en una asignatura académica universitaria. *Revista Iberoamericana de Informática Educativa Artículos*, 25: 1-8.
- Juan Gutiérrez, P. J., y Marcos Alba, C. L. 2016. De la línea al punto: fotogrametría digital y narrativa gráfica. *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, 9: 78-85. <https://doi.org/10.4995/ege.2016.12468>
- Leandri, G., Campbell, J., Iñarra Abad, S. y Juan Vidal, F. 2022a. Architectural representation: the image and the sign. 8th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'22) Valencia: Universitat Politècnica de València. <http://dx.doi.org/10.4995/HEAd22.2022.14179>
- Leandri, G., Iñarra Abad, S., Juan Vidal, F. y Leandri, M. 2022b. El cerebro del arquitecto y la mano pensante. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 27(46): 184-193. <https://doi.org/10.4995/ega.2022.18434>
- López González, C., García Valldecabres, J. L. y Girbés Pérez, J. 2021. El método Flipped Classroom en asignaturas gráficas. *I Congreso de Escuelas de Edificación y Arquitectura Técnica de España*. <https://doi.org/10.4995/edificate2021.2021.13273>
- Maldonado Plaza, E. 2016. Estrategias de implantación de enseñanza BIM en estudios de postgrado. Experiencia en la Universidad Politécnica de Madrid. *Spanish Journal of Building Information Modeling*, 16(1): 30-39.
- Niederheiser, R., Mokroš, M., Lange, J., Petschko, H., Prasicsek, G. y Elberink S. O. 2016. *Deriving 3d point clouds from terrestrial photographs-Comparison of different sensors and software*. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLI-B5: 685-692.
- Rodríguez Esteban, M. A., Frechilla-Alonso, M. A. y Sáez Pérez, M. P. 2018. Implementación de la evaluación por pares como herramienta de aprendizaje en grupos numerosos. Experiencia docente entre universidades. *Advances in Building Education* 2(1): 66. <https://doi.org/10.20868/abe.2018.1.3694>
- Sánchez Canales, M., García Aranda, C., Morillo Balsera, M. C. y Sánchez de la Muela, A. 2019. Clasificación de los diferentes modelos de Aula invertida y su aplicación en la Universidad Politécnica de Madrid. Aprendizaje, innovación y cooperación como impulsores del cambio metodológico. V congreso internacional sobre aprendizaje, innovación y cooperación, CINAIC. <https://doi.org/10.26754/cinaic.2019.0124>

Tucci, G., Conti, A., Fiorini, L., Panighini, F. y Parisi, E. I. 2018. Education and training resources on digital photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-5: 45-50. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-45-2018>