



Fabricación digital de maquetas para la mejora de la interpretación cartográfica y el fomento de la competencia creativa

Digital manufacturing of 3D DTM models to enhance cartographic interpretation & creative competence

Dámari Melián Díaz ¹, Carlos Carbonell Carrera ¹, José Luis Saorín Pérez ^{1*}, Jorge de la Torre Cantero ¹, Norena Martín Dorta ¹

¹ Departamento de Técnicas y Proyectos en Ingeniería y Arquitectura, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Universidad de La Laguna, España.

* Corresponding author email: email: jlsaorin@ull.edu.es

Recibido: 21/02/2017 | Aceptado: 11/04/2017 | Fecha de publicación: 30/04/2017
DOI: En proceso

TITULARES

- Fabricación digital 3D de bajo coste.
- Maquetas de terreno.
- Creatividad en la interpretación del relieve.

HIGHLIGHTS

- Low-cost 3D digital manufacturing.
- Model of terrain.
- Creativity with the Interpretation of the relief.

RESUMEN

En educación superior, para las titulaciones de ingeniería y arquitectura es precisa la adquisición y desarrollo de competencias como la creatividad y la visión espacial. La competencia espacial se puede desarrollar mediante la realización de ejercicios y la creatividad mejora, si el diseño de los ejercicios permite múltiples soluciones. La comprensión del relieve topográfico es necesaria para la integración de proyectos de arquitectura e ingeniería en el entorno. Sin embargo, en la formación universitaria se han detectado carencias para la interpretación de las formas del relieve. Las maquetas de terreno, pueden ayudar a suplir esta carencia. La aparición de tecnologías de fabricación digital de bajo coste permiten la creación de maquetas de terreno y su incorporación en la docencia reglada. En este artículo se presentan los resultados de dos experiencias. En la primera, llevada a cabo durante el curso 2015-16 con 33 alumnos universitarios, se realizan maquetas topográficas utilizando secciones apiladas, con el objetivo de mejorar la interpretación tridimensional de las formas del terreno. La segunda parte de la experiencia, llevada a cabo durante el curso 2016-17 se realiza con alumnos de Máster. Se trata de una validación preliminar, con pocos alumnos, en la que se pretende incorporar aspectos creativos a la realización de maquetas de terrenos. Para medir la variación de la competencia creativa en los alumnos se utiliza el Test de Abreacción de la Creatividad (TAEC), antes y después de la experiencia.

Palabras clave: *Fabricación digital 3D de bajo coste; Maquetas de terreno; Interpretación del relieve; Competencias espaciales, Creatividad.*

ABSTRACT

In higher education, engineering and architecture degrees require the acquisition and development of skills such as creativity and spatial ability. Space competence can be developed by performing exercises and the creativity improves, if the design of the exercises allows multiple solutions. The understanding of topographic relief is necessary for the integration of architectural and engineering projects in the environment. However, in the university context deficiencies have been detected for the interpretation of the relief forms. Land models can help to fill this gap. The emergence of low cost digital manufacturing technologies allows the creation of terrain models and their incorporation for teaching. This article presents the results of two experiences. In the first one, carried out during the 2015-16 academic year with 33 university students, topographic models are made using stacked sections, with the aim of improving the three-dimensional interpretation of the terrain forms. The second part of the experience, performed during the 2016-17 course is carried out with Master's students. This is a preliminary validation, with few students, which seeks to incorporate creative aspects to the realization of land models. To measure the variation of creative competence in students, the Creativity Abreaction Test (TAEC) is used, before and after the experience..

Keywords: *Low-cost 3D digital manufacturing; 3D DTM models; relief interpretation; Spatial competences, Creativity.*

1. INTRODUCCIÓN

La interpretación del relieve para la integración de proyectos arquitectónicos en un entorno paisajístico es un reto al que profesionales de la arquitectura se enfrentan a diario. En la representación del relieve se han venido utilizando técnicas cartográficas como las curvas de nivel, los sombreados y las tintas hipsométricas, por citar los más representativos. Estas técnicas, combinadas con la modelización digital de terrenos y su integración en entornos BIM, facilitan la representación tridimensional, pero en arquitectura e ingeniería es frecuente recurrir al empleo de maquetas para obtener una representación 3D tangible, que complemente a su versión digital. Cazaro y Martínez, [1] afirman que la tecnología digital está dirigiendo la producción gráfica hacia un nuevo realismo y un nuevo materialismo o materialidad virtual, y concluyen que el mundo del dibujo virtual del ordenador también ha provocado, en paralelo, conexiones directas con el mundo real, a través de lo que se ha dado en llamar fabricación digital [2].

A su vez, en entornos educativos donde los planos son ampliamente utilizados (ingeniería y arquitectura), el empleo de maquetas ayuda a la comprensión del espacio tridimensional. Numerosos investigadores han estudiado las dificultades de los estudiantes en la interpretación del relieve cartográfico: Boardman [3] detectó problemas en la interpretación de curvas de nivel; Carter, Patrick, Wiebe, Park y Butler [4] concluyeron que los estudiantes tienen dificultades en la transición entre las representaciones 2D y su interpretación 3D; Lanca [5] estudió la capacidad de los alumnos para crear representaciones transversales 3D de mapas

topográficos, sugiriendo la necesidad de profundizar en estrategias específicas para la comprensión de mapas topográficos.

La lectura e interpretación de mapas topográficos implica un esfuerzo a nivel cognitivo para los usuarios de documentos cartográficos, al estar la información jerarquizada, estructurada y representada a través de símbolos, unido al desafío de interpretar información espacial tridimensional (el relieve cartográfico) representada en un entorno bi-dimensional [6] que reproduce el relieve topográfico a través de diversas técnicas cartográficas.

En el marco del Espacio Europeo de Educación Superior, un modelo basado no solo en la adquisición de competencias, sino en el desarrollo de habilidades y competencias, [7,8], existen un gran número de competencias y resultados de aprendizaje relacionados con el pensamiento espacial y la representación del relieve [9,10]: conocimiento de los elementos del mapa y las formas de representación del relieve, modelización del medio natural, conocimiento y manejo de las herramientas informáticas precisas para el cálculo, procesado, análisis, representación y gestión del dato, representación cartográfica de elementos geomorfológicos, reconstrucción tridimensional y modelización virtual, conocimiento de los procesos y las formas de relieve terrestre hacia su integración en el análisis del paisaje y planificación [11].

Este conjunto de competencias y resultados de aprendizaje componen el denominado pensamiento espacial. El pensamiento espacial es considerado por numerosos autores e instituciones educativas [12,13,14,15,16,17,18] como imprescindible para completar con éxito

estudios superiores en Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, recogidos bajo el acrónimo STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics). Así como en el entorno educativo europeo, en el ámbito universitario norteamericano existen también un gran número de titulaciones con contenidos relacionados con el pensamiento espacial [19]. Por todo esto se hace necesario el fomento de actividades, tecnologías y metodologías docentes que estimulen y desarrollen el pensamiento espacial, dado el gran número de competencias y resultados de aprendizaje relacionados con el pensamiento o razonamiento espacial.

Autores como Kim & Bernarz [20] consideran que interpretación de mapas puede ser considerada como una componente importante del pensamiento espacial, dado que el pensamiento espacial preconiza el empleo de representaciones del espacio. Así, en el ámbito topográfico, el razonamiento espacial comprende el empleo de representaciones cartográficas, gráficos, símbolos y modelos [21]. La representación mental de la información cartográfica implica la destreza para la interpretación del relieve. Esto supone todo un desafío para los usuarios noveles de mapas y planos [22], que a través del pensamiento espacial deben ser capaces de detectar accidentes geomorfológicos y formas del relieve específicas como colinas, valles, divisorias, collados y vaguadas entre otras formaciones.

Para la adquisición de estas competencias espaciales, diversos estudios han demostrado que un contenido se aprende más rápido mediante el uso de objetos tridimensionales [23]. En ámbitos educativos, los objetos y modelos en 3D son utilizados de manera habitual en diferentes disciplinas, como en la enseñanza de la arquitectura (maquetas) y para

el dibujo técnico y las vistas normalizadas (piezas técnicas). Sin embargo, en estos casos las maquetas ya están construidas: la creación de maquetas es una actividad que da un paso más en el proceso de aprendizaje. Álvarez [24] señala la maqueta como un elemento didáctico de primer orden.

En este artículo se presenta una tecnología de fabricación digital de bajo coste para la creación de maquetas mediante secciones apiladas, en el que se emplean aplicaciones como Autodesk 123D Make y Google SketchUp, que al ser gratuitas facilitan su implantación en la docencia. Para medir el impacto de esta tecnología en la interpretación del relieve topográfico se lleva a cabo un taller en el que estudiantes universitarios elaboran maquetas de terreno y realizan una serie de ejercicios que combinan la representación 2D convencional con la obtenida a través de las maquetas. Por otra parte, se realiza también otra experiencia con un número reducido de alumnos para obtener una validación preliminar de los aspectos creativos asociados a la realización de maquetas de terrenos.

1.1 Maquetas: desde el cartón a la fabricación aditiva

En la práctica profesional, las maquetas son utilizadas como herramientas auxiliares en la realización de proyectos arquitectónicos: la maqueta comparte con el dibujo una gran síntesis expresiva, lo que la convierte en un certero instrumento de conocimiento que entra a formar parte del engranaje básico de la materialización y concreción física de la idea del proyecto [25]. En ámbitos docentes, a su vez, ha sido frecuente el empleo de maquetas topográficas para el entendimiento de los terrenos de manera rápida y clara [26]. En la

figura 1, se muestra una maqueta utilizada en la Universidad de La Laguna para la asimilación de contenidos relacionados con el desmonte y terraplén de terrenos.

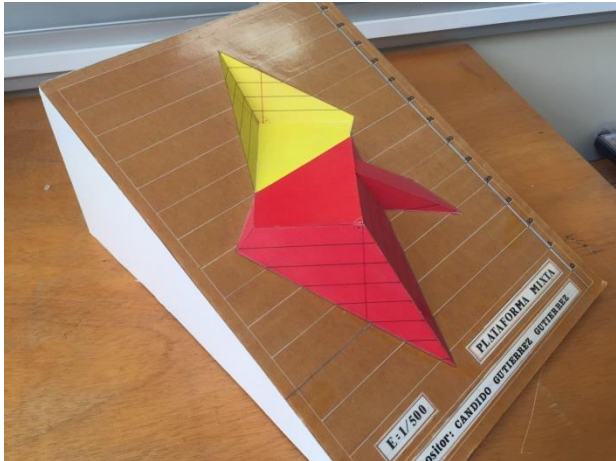


Fig.1. Maqueta descriptiva de taludes de desmonte y terraplén por planos acotados.

Las maquetas constituyen un excelente material didáctico en la enseñanza y aprendizaje de la lectura, interpretación y realización de los planos que definen un proyecto o sus diferentes elementos [27], así como un poderoso instrumento de análisis arquitectónico [28].

Los procesos y materiales tradicionales de fabricación (escayola, madera, corcho, cartón...) están siendo sustituidos por la modelización digital de terrenos obtenida a través de observaciones topográficas, escaneo laser tridimensional o técnicas fotogramétricas. Una manera de simplificar es utilizar aplicaciones gratuitas como Google SketchUp que permite geolocalizar un proyecto partiendo de los datos de Google Earth (Figura 2). Este modelo se puede exportar en formato STL, un formato comúnmente utilizado en procesos de fabricación digital.

Las nuevas tecnologías permiten la fabricación de maquetas a partir de modelos digitales de terreno, a través de Tecnologías de fabricación digital accesibles y de bajo coste.

Las tecnologías de fabricación digital no son recientes, sin embargo es en los últimos años cuando se ha producido un abaratamiento de las mismas que las hacen accesibles en entornos educativos. Este abaratamiento se ha producido tanto en el hardware como en el software, y la tendencia de grandes compañías de software, como Autodesk o 3DSystems, es proporcionar algunas de sus aplicaciones de forma gratuita, como las utilizadas en esta investigación. En el terreno del hardware, los precios han descendido de forma considerable con la aparición de nuevas empresas que fabrican y distribuyen dispositivos para la fabricación digital.

Las impresoras 3D son máquinas que, a partir de ficheros digitales, permiten generar objetos mediante adición de material (plástico fundido, resina fotosensible, etc.). A esta tecnología se la conoce también como prototipado rápido [29]. Actualmente existen varias marcas como Cube, BQ o Makerbot entre otras, que ofrecen dispositivos de bajo coste y fácil manejo.

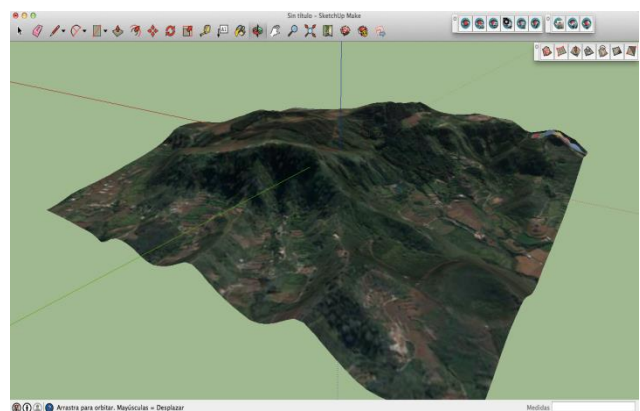


Fig. 2. MDT Google SketchUp.

Para la realización de maquetas de terreno, las impresoras 3D permiten la reproducción del terreno a través de capas sucesivas impresas en plástico fundido. Su acabado es muy preciso, pero según el tamaño de la maqueta existen limitaciones debido a la superficie de impresión. Además, se precisa de mucho tiempo para su ejecución. Por este motivo, para que el alumno participe en la ejecución de la maqueta dentro del horario de clase, es preciso recurrir a tecnologías de fabricación aditiva basadas en la creación de objetos 3D a partir de secciones apiladas, que en el caso que nos ocupa representan las curvas de nivel. Partiendo, por tanto, del fichero STL, y con aplicaciones de software gratuitas como Autodesk 123D Make se generan las secciones, que posteriormente servirán de plantilla para la ejecución de la maqueta.

La aplicación Autodesk 123D Make ha cambiado recientemente de denominación, pasando a ser Autodesk Slicer.

1.2 Creatividad en arquitectura e ingeniería

Actualmente el plan de estudios de la Educación Superior está diseñado en base a la adquisición de habilidades. El término "competencia" viene definido por la Comisión Europea como la capacidad demostrada para utilizar los conocimientos y habilidades, siendo el conocimiento el resultado de la asimilación de información que tiene lugar a lo largo del aprendizaje.

En educación superior, para las titulaciones de ingeniería y arquitectura es precisa la adquisición y desarrollo de competencias como la creatividad y la visión espacial.

La capacidad de visión espacial es considerada por varios autores como fundamentales para la

realización de tareas de ingeniería [30]. El grupo de investigación para el desarrollo de habilidades espaciales (DEHAES, <http://dehaes.webs.ull.es>), de la Universidad de La Laguna, trabaja en el estudio de tecnologías de representación 3D y metodologías docentes innovadoras para la mejora de las competencias espaciales en alumnos de ingeniería y arquitectura [31]. Entre estas tecnologías tridimensionales destacan la realidad aumentada, los dispositivos móviles y las impresoras 3D [32,33].

En relación a la competencia creativa, existen numerosos estudios que contemplan diferentes definiciones sobre creatividad. Las opiniones para definir este concepto son dispares llegando incluso a asumirla como irrealizable [34]. Alonso Monreal [35] define la creatividad como «la capacidad de utilizar la información y los conocimientos de forma nueva, y de encontrar soluciones divergentes para los problemas». Por su parte, Blanco [36] explica que esta es «la capacidad o aptitud para generar alternativas a partir de una información dada, poniendo el énfasis en la variedad, cantidad y relevancia de los resultados. Se trata de cualquier acto, idea o producto que transforma un campo ya existente en uno nuevo». Estas dos últimas definiciones son las que más se acercarían al concepto que se busca en alumnos de Ingeniería, el de buscar diferentes soluciones a un mismo problema.

La definición y clasificación de las competencias en el Espacio Europeo de Educación Superior se basa en el proyecto Tuning [37]. Este proyecto incluye, como una competencia genérica, la capacidad de generar nuevas ideas (creatividad) y en las universidades españolas se mencionan en los libros blancos de Ingenierías [38]. La importancia de la creatividad en la enseñanza de la ingeniería es un aspecto cada vez más

importante en muchos países, aunque todavía no es un enfoque generalizado [39].

Además, las instituciones como la Academia Nacional de Ingeniería en los EE.UU. en su informe estratégico El Ingeniero de 2020, afirma que las Humanidades y las Ciencias Sociales, Comunicación y Habilidades de presentación son más, o al menos igual de importantes que el conocimiento técnico de un ingeniero profesional. Precisamente, en este informe en particular, se dice, "Es apropiado que los ingenieros sean educados para entender y apreciar la historia, la filosofía, la cultura y las artes, junto con los elementos creativos de todas estas disciplinas".

Debido a esto, las escuelas no deberían seguir enseñando disciplinas aisladas, sino avanzar hacia una educación centrada en el humano. Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas (STEM) deben incluir Arte y Diseño para favorecer la creatividad junto con el razonamiento y por lo tanto, tienden a un nuevo acrónimo para producir vapor ("A" es para las Artes y el Diseño). Este nuevo concepto hace hincapié en el pensamiento a largo plazo para los profesionales de la ingeniería, ya que toma en cuenta el hecho de que el mundo se ha movido en una fase de cambio continuo en el que tienen que estar constantemente adaptándose a las nuevas realidades de trabajo [40].

Los test de creatividad se originan en la Segunda Guerra Mundial, momento en que las fuerzas aéreas encargaron a J.P. Guilford, psicólogo de la Universidad de California, que estudiara la manera de seleccionar pilotos que, ante una situación de emergencia, reaccionaran con una conducta original, con la que el piloto lograra salvar tanto su vida como el avión. Tras la investigación de este autor, se han publicado más de 155 recursos para

evaluar la creatividad. No obstante, con anterioridad a Guilford, ya se habían evaluado los indicadores de la creatividad por parte de otros autores en los campos de la música y las artes visuales. Es más, la evaluación de indicadores como la individualidad y el asociacionismo se remonta a 1910.

Se ha considerado apropiado explicar brevemente los 4 instrumentos de medida más utilizados en España donde se mencionan los rasgos que se valoran en cada instrumento, los factores que estudia, y su adecuación o no para el objeto de análisis que nos ocupa:

- La batería de la creatividad de Guilford: Este instrumento valora los rasgos de fluidez, flexibilidad, originalidad, elaboración y sensibilidad. Analiza los factores fundamentales correspondientes al pensamiento divergente, por ser este el que se interpreta de ordinario como correspondiente a la creatividad.
- Los Test de Pensamiento Creativo de Torrance: Los rasgos que se valoran en este test son los de fluidez, flexibilidad, originalidad, elaboración, inventiva y penetración. Estudia una capacidad creativa general, busca modelos del proceso creador en su desarrollo natural, lo que a su vez confiere a los test una capacidad de manejo metodológico más accesible y una buena fiabilidad de los resultados.
- El test CREA de Corbalán: Esta herramienta se puede aplicar con individuos de 6 años de edad en adelante, tanto hombres como mujeres, y resulta útil en los ámbitos clínico, educativo y organizacional, y en la práctica de las artes, diseño y publicidad. A diferencia de la batería de Guilford, que toma en consideración los cinco factores anteriormente mencionados, el test CREA

Fabricación digital de maquetas para la mejora de la interpretación cartográfica y el fomento de la competencia creativa

Dámari Melián Díaz, Carlos Carbonell Carrera, José Luis Saorín Pérez, Jorge de la Torre Cantero, Norena Martín Dorta

propone una medida única de la creatividad, ya que se estudia como un estilo psicológico. Así, el CREA utiliza como procedimiento para medir la creatividad la capacidad del sujeto para elaborar preguntas, que sirven como indicador.

- El test de Abreacción para Evaluar la Creatividad (TAEC). Esta prueba se puede aplicar desde preescolar hasta la edad adulta, es un test gráfico-inductivo de complejión de figuras, es por este motivo por el que se ha elegido este test para realizar esta experiencia.

El instrumento usado para medir la creatividad en la segunda experiencia que se presenta en este trabajo es el Test de Abreacción de la Creatividad, TAEC de Saturnino de la Torre [41]. Se ha elegido este entre todos los existentes debido a que es un test gráfico-inductivo de complejión de figuras, muy adecuado para ser usado en el contexto de la asignatura de Expresión Gráfica por parte de las carreras de Ingeniería y Arquitectura.

Este test (Figura 3) se puede aplicar a alumnos de diferentes edades, desde preescolar hasta la edad adulta ya que cuenta con dos variables según la edad del usuario. Carece de Instrucciones específicas, pudiendo ser utilizado por cualquier profesor sin conocimientos previos sobre el tema. Tampoco presenta dificultades en la realización por parte del sujeto, por tanto tiene plena libertad en la forma de realizarlo.

En lo que concierne a su estructura, el test se compone de 12 figuras con un total de 36 aberturas, en posiciones, formas y reclamos diversos. Una vez el alumno realiza sus dibujos o composición global, se valoran los rasgos de resistencia al cierre, originalidad, elaboración, fantasía, conectividad (integración creativa),

alcance imaginativo, expansión figurativa, riqueza expresiva, habilidad gráfica, morfología de la imagen y estilo creativo, a través del estímulo gráfico. También se tiene en cuenta el tiempo que el alumno tarda en realizarlo.

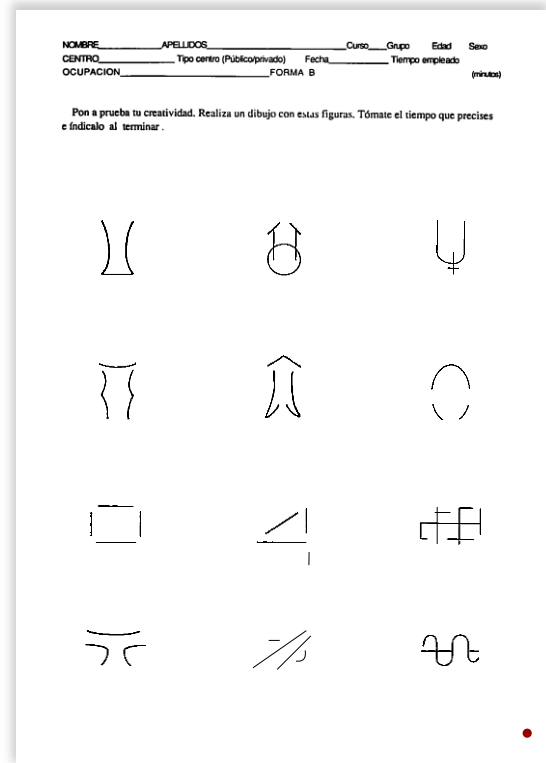


Fig. 3. Test de Abreacción de la Creatividad, TAEC.

Para la valoración se utilizan dos criterios, uno global y otro analítico. La estimación global permite situar de una manera rápida el estado del Sujeto, en un nivel Bajo, Medio o Alto. Sin embargo, la valoración analítica de cada una de las figuras permite cuantificar los resultados y obtener estudios comparativos.

Es un instrumento que ha servido para comparar la creatividad en distintos países y personas con diferente lengua por su facilidad de utilización en cualquier cultura. Asimismo, ha resultado muy útil para probar de una manera preliminar el progreso en creatividad de un grupo de alumnos.

En este contexto creativo-tecnológico es preciso, por tanto, además de una dotación tecnológica adecuada, el diseño de actividades que permitan aprovechar todo el potencial creativo de los alumnos en su entorno de enseñanza-aprendizaje. En la Universidad de La Laguna, donde se realiza este estudio, ya se ha llevado a cabo un taller¹ de modelado 3D para introducir aspectos del arte y el diseño en carreras técnicas (STEAM), en el ámbito de asignaturas de Expresión Gráfica y Diseño Asistido por Ordenador de grados de Ingeniería y Arquitectura [42].

2. MATERIALES Y MÉTODO

En este artículo se presentan los resultados de dos experiencias en esa línea. En la primera, llevada a cabo durante el curso 2015-16 con 33 alumnos universitarios, se realizan a partir de cinco modelos 3D digitales de terrenos, maquetas topográficas utilizando secciones apiladas. El objetivo de esta experiencia es mejorar la interpretación tridimensional de las formas del terreno. La segunda parte de la experiencia, llevada a cabo durante el curso 2016-17 se realiza con alumnos del Máster del profesorado. Se trata de una validación preliminar, con pocos alumnos, en la que se pretende incorporar aspectos creativos a la realización de maquetas de terrenos. Para ello los alumnos escogen la zona que quieren representar, y determinan los tamaños y escalas con las que trabajar. Una vez escogido el terreno, se crea la maqueta digital 3D y se fabrica a posteriori con las técnicas de la experiencia anterior. Para medir la variación de la competencia creativa en los alumnos se utiliza el Test de Abreacción de la Creatividad (TAEC), antes y después de la experiencia.

¹ <http://www.anfore3d.com/#!anfore-stella-3d/c1vil>

2.1 Experiencia I: Mejora de interpretación de terrenos

La actividad se desarrolló durante el curso académico 2015-2016 con 33 estudiantes de Ingeniería de la Universidad de La Laguna separados en 11 grupos de tres componentes.

Sesión 1:

Se facilitan cinco mapas en papel, en los que el relieve del terreno se representa a través de diferentes técnicas cartográficas 2D: curvas de nivel, ortofotos, tintas hipsométricas combinadas con curvas de nivel, escalas de color y sombreado cenital oblicuo con tintas hipsométricas combinadas con curvas de nivel. Cada tipo de representación contiene una serie de preguntas sobre la interpretación del terreno que los alumnos deben identificar en el mapa: rutas, líneas de máxima pendiente, elevaciones, colinas, líneas divisorias, vaguadas, vértices y depresiones

Sesión 2:

A partir de los cinco mapas de la sesión 1, se les entrega a los alumnos los terrenos representados en formato 3D digital (STL) y se lleva a cabo la construcción de la maqueta. Con el programa 123D Make los alumnos tienen que construir una maqueta de 15 x 15 cm utilizando la técnica de fabricación denominada Stacked Slices (secciones apiladas). Utilizando esta técnica, el programa genera secciones de terreno horizontales, similares a las curvas de nivel. El espesor de cada sección (en función del material utilizado) y la forma del terreno, determinarán el número de partes que constituirá la maqueta (Figura 4).

Fabricación digital de maquetas para la mejora de la interpretación cartográfica y el fomento de la competencia creativa

Dámari Melián Díaz, Carlos Carbonell Carrera, José Luis Saorín Pérez, Jorge de la Torre Cantero, Norena Martín Dorta

Una vez impresas las plantillas de las secciones en papel, se pegan sobre etilvinilacetato, para recortarlas y proceder a pegar las capas por orden (Figura 5). Este material, también conocido como goma EVA, es barato y fácil de cortar con cúter y/o tijeras. Cada pieza está numerada y si el montaje del terreno presentara alguna dificultad, se puede recurrir al vídeo de montaje que ofrece el programa.

Terminada la maqueta, los alumnos comprueban las respuestas dadas a las preguntas sobre la interpretación del relieve formuladas en la sesión 1 con la representación 2D, comparando si la comprensión del espacio expresado a través de un mapa se corresponde con su vista tridimensional. La figura 6 muestra un tipo de representación (curvas de nivel) 2D y su correspondiente maqueta.

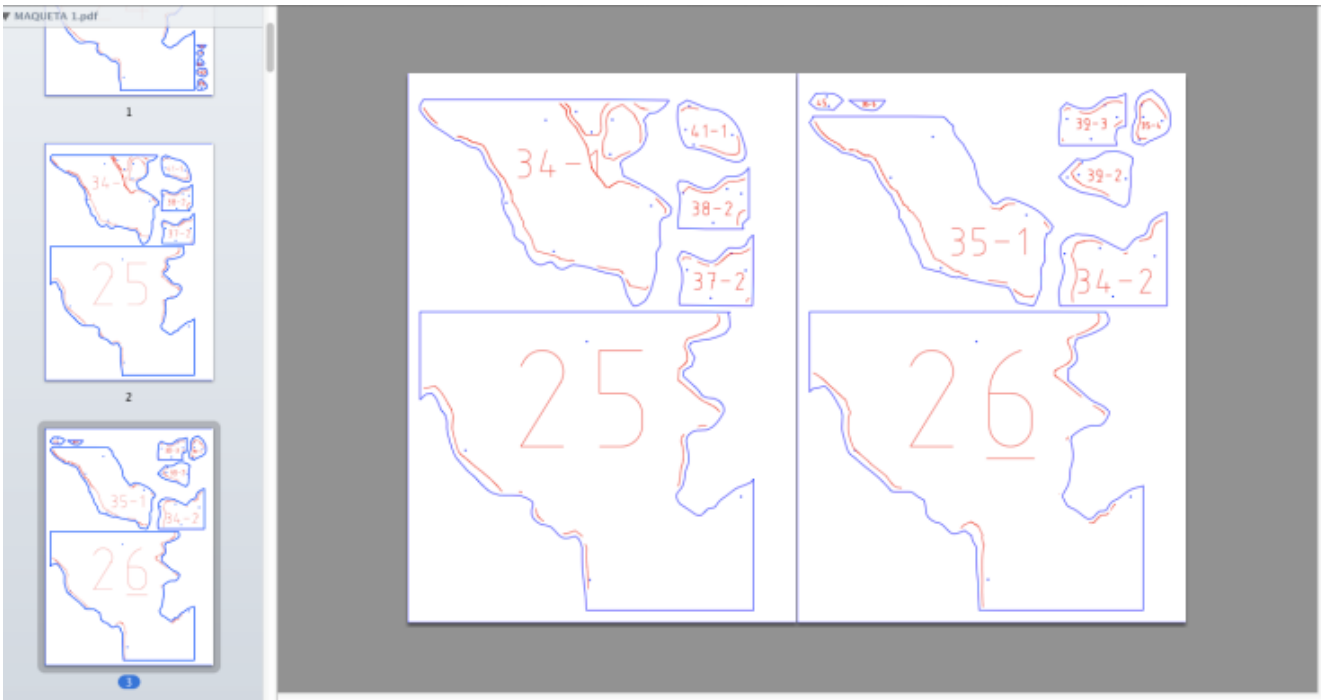


Fig. 4. Secciones.

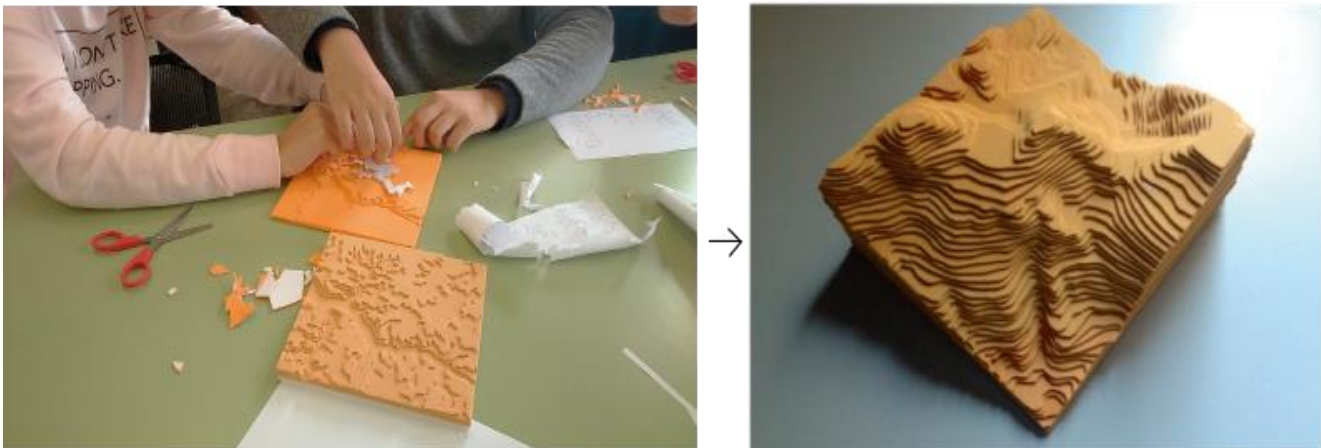


Fig. 5. Pegado de secciones de etilvinilacetato y creación de maqueta.

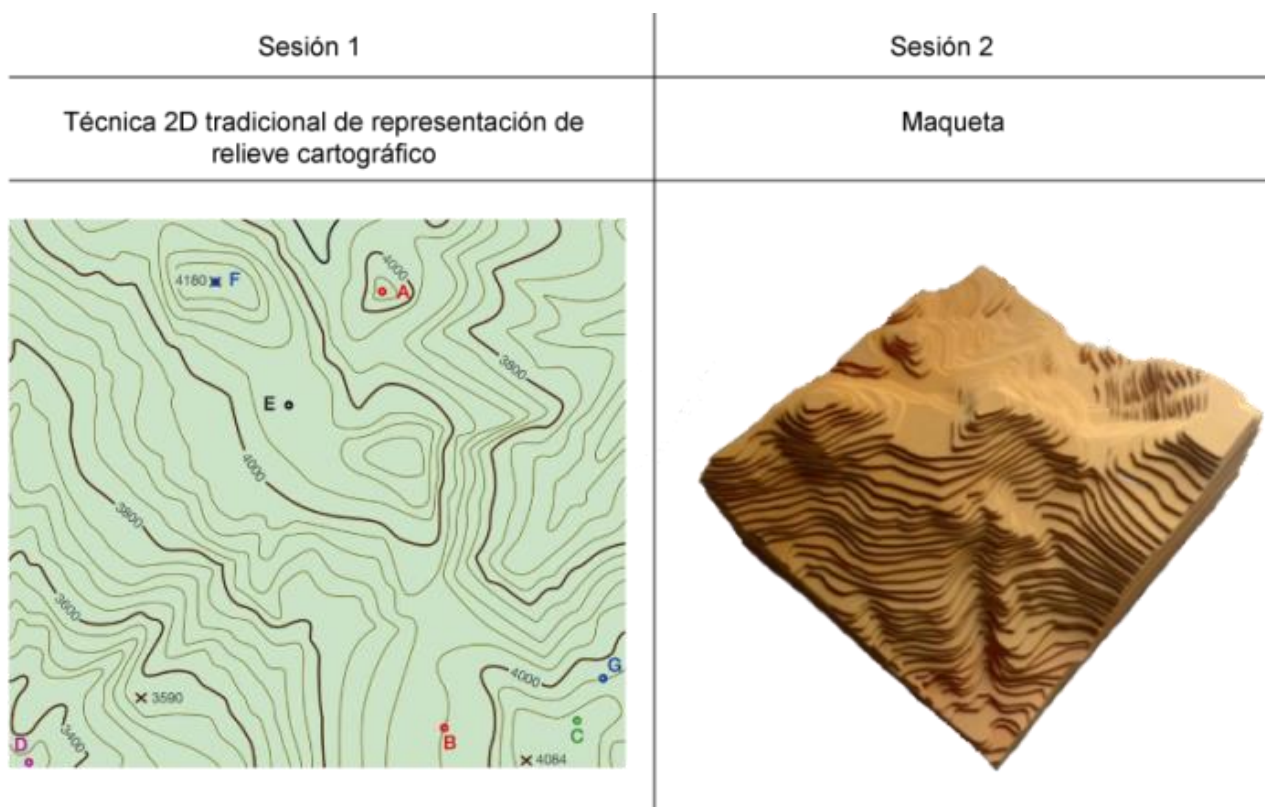


Fig. 6. Representaciones 2D con técnicas cartográficas tradicionales y su versión en maqueta.

2.2 Experiencia II: Fomento de la creatividad

En esta experiencia, a diferencia de la actividad anterior donde los alumnos realizaban maquetas de terrenos ya dados, se pretende incorporar aspectos creativos a la realización de maquetas de terrenos. Para ello los alumnos escogen la zona que quieren representar y determinan los tamaños y escalas con las que trabajar. Se ha realizado con pocos alumnos al objeto de disponer de una primera valoración preliminar de los aspectos creativos.

Esta actividad se realizó con 3 alumnos del Máster de Formación del profesorado en la especialidad de Informática. Se dedicaron dos sesiones para la realización de esta actividad, la primera de 1 hora y la segunda de 4 horas.

Sesión 1:

Los alumnos realizan al finalizar la clase habitual el test de creatividad TAEC (Pre test) al objeto de disponer de una valoración inicial de los valores de creatividad del grupo.

Sesión 2:

Los participantes, seleccionan individualmente el lugar con el que posteriormente van a trabajar para realizar la maqueta del terreno. Los alumnos podían escoger en función de sus intereses personales la zona geográfica de la maqueta, (zonas significativas en su vida diaria), los lugares escogidos fueron una montaña sagrada de los guanches al sur de la isla de Tenerife, la desembocadura de un

barranco en la isla de La Palma y por último una montaña emblemática de un municipio del norte de Tenerife.

Cada alumno localizó y generó el modelo .STL de su terreno con el programa SketchUp, y siguió el mismo procedimiento para la realización de su maqueta que realizaron los alumnos de la Experiencia I en la Sesión 2. Una vez los alumnos terminan sus maquetas, realizan de nuevo el test de creatividad TAEC (Post Test).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar las dos experiencias anteriormente descritas, se han obtenido los siguientes resultados:

Al finalizar la primera experiencia, los participantes se someten a una encuesta de satisfacción (Tabla 1) con respuestas en escala de Likert (1 totalmente en desacuerdo, 5 totalmente de acuerdo). En esta encuesta, las tres primeras preguntas (Q1, Q2, Q3) se refieren a la mejora de la comprensión del relieve, las siguientes tres preguntas (Q4, Q5, Q6) se refieren a conceptos básicos asociados a la interpretación tridimensional del terreno y las preguntas Q7 y Q8 hacen referencia a la herramienta 123D Make utilizada para la creación de la maqueta. Una estimación de la fiabilidad del cuestionario se calcula el alfa de Cronbach, obteniendo un valor de 0,78 (un valor sobre 0,7 ó 0,8 es suficiente para asegurar la fiabilidad).

Los resultados de creatividad obtenidos en antes (Pre-Test) y después (Post-test) de realizar la segunda experiencia son los expuestos en la Tabla 2.

	Cuestión	Media
Q1	El proceso de realización de la maqueta me permite visualizar los accidentes geográficos necesarios mejorando mi comprensión del relieve.	4,2 (0,56)
Q2	Las maquetas son útiles para aprender los conceptos básicos de cartografía y topografía.	4,34 (0,70)
Q3	Con la maqueta interpreto mejor las formas del relieve que con la representación 2D.	4,34 (0,60)
Q4	Con la maqueta entiendo mejor el concepto de curva de nivel que con la representación 2D.	4,38 (0,79)
Q5	Con la maqueta entiendo mejor el concepto de línea de máxima pendiente que con la representación 2D.	4,13 (0,79)
Q6	Con la maqueta entiendo mejor los conceptos sobre el perfil longitudinal y transversal que con la representación 2D.	3,84 (1,05)
Q7	123D Make es una buena herramienta para realizar maquetas de terrenos en 3D.	4,4 (0,51)
Q8	El uso de 123D Make para introducir el modelado 3D de terrenos en las aulas me parece muy interesante.	4,1 (0,60)

Tabla 1. Encuesta de satisfacción

	Pre Test	Post Test
Media	84,4	102,8
(Desviación típica)	(23,1)	(23,5)

Tabla 2. Resultados del TAEC

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de la primera experiencia, podemos concluir que:

El uso de maquetas mejora la comprensión del relieve (Q1, Q2, Q3): la valoración de los estudiantes en estas tres preguntas, es alta (valores superiores a 4 sobre 5). En este sentido, no solo el empleo de maquetas, sino el proceso de fabricación de las mismas, ayuda a un mejor entendimiento de las formas del terreno.

Conceptos básicos asociados a la interpretación tridimensional del terreno (Q4, Q5, Q6) como los de curva de nivel, línea de máxima pendiente y secciones longitudinales y/o transversales se adquieren mejor a través de maquetas (puntuaciones de las tres preguntas por encima de 3,8 sobre 5) que con las representaciones tradicionales del terreno en mapas y planos.

Herramientas gratuitas como 123D Make están bien consideradas (Q7, Q8) por los alumnos para la realización de maquetas (puntuaciones superiores a 4 sobre 5). Así mismo, constituyen una interesante metodología docente para la fabricación y modelado tridimensional.

Con respecto a la segunda experiencia, la validación preliminar de la creatividad, se puede comprobar que los alumnos mejoran los resultados obtenidos en el Test de Creatividad (TAEC), pasando de una puntuación de 84,4 sobre 324 en el Pre Test a 102,8 sobre 324 en el Post Test.

Como futuro trabajo, se propone medir los resultados de creatividad en un grupo mayor, que nos permita obtener resultados definitivos.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la financiación concedida a la ULL por la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información, cofinanciada en un 85% por el Fondo Social Europeo. Trabajo financiado con el proyecto de I+D+I "Anotaciones de modelos 3D en el ciclo de vida en entornos BIM", referencia TIN2013-46036-C3-3-R, de la Secretaria de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación, de ayudas correspondientes a la convocatoria 2013 del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad. Artículo desarrollado en el ámbito del Proyecto de Innovación Educativa "La impresión de modelos digitales de terreno para la mejora de las competencias espaciales y la interpretación del relieve cartográfico", correspondiente a la convocatoria número 1 de 2015 de Proyectos de Innovación Docente de la Universidad de La Laguna para el curso 2015-16.

REFERENCIAS

[1] Carazo Lefort, E., Martínez Gutiérrez, S. (2013). La generación digital. Más notas para el debate sobre una cibernética de la arquitectura. EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica, [S.l.], n. 22, p. 50-59, nov. ISSN 2254-6103. Disponible en: <<http://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/1680>>. Fecha de acceso: 16 abr. 2017 doi: <http://dx.doi.org/10.4995/ega.2013.1680>.

[2] Carazo Lefort, E., Galvan Desvaux, N. (2014). Aprendiendo con maquetas. Pequeñas maquetas para el análisis de arquitectura. EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica, [S.l.], n. 24, p. 62-71, jul. 2014. ISSN 2254-6103. Disponible en:

<http://polipapers.upv.es/index.php/EGA/article/view/1828>>. Fecha de acceso: 16 abr. 2017 doi: <http://dx.doi.org/10.4995/ega.2014.1828>.

[3] Boardman, D. (1989). The development of graphicacy: children's understanding of maps, *Geography* 74 (4), pp.321-331.

[4] Carter, G., Patrick, M., Wiebe, E. N., Park, J.C., Butler, S. M. (2005). In Proceedings of NARST, Dallas, TX, Middle grade students' interpretation of topographic maps. 2005.

[5] Lanca, M. (1998). Three dimensional representation of contour maps. *Contemporary Educational Psychology*, no. 23, pp. 22 – 41. ISSN 0361-476X

[6] Gobert, J. (2005). The effects of different learning tasks on model-building in plate tectonics: Diagramming versus explaining. *Journal of Geoscience Education* 53 (4): 444–455.

[7] Boletín Oficial de Estado, (2007). “ECI Order/3855/2007 from December 29th. State's Official Bulletin, 312.” January. http://www.boe.es/diario_boe/

[8] Boletín Oficial del Estado, (2007). “Royal Decree 1393/2007 from October 29th. State's Official Bulletin.” May. http://www.boe.es/diario_boe/

[9] Tulla, A., Busto, J. R., Gabilondo, A., Ruiz-Rivas, C., Laka J. P., Roselló, G. (2004). White Paper Degree in Geography and Planning, 177-186. Madrid: National Agency for Quality Assessment and Accreditation (ANECA).

[10] Chueca, M., Salcedo, F., Ferrer, J., Galán, L., Olivé, J. (2004). White Paper Title Engineer Degree in Geomatics and Surveying, 118-148. Madrid: National Agency for Quality Assessment and Accreditation (ANECA).

[11] Chueca, M., Salcedo, F., Ferrer, J., Galán, L., Olivé, J. (2004). White Paper Title Engineer Degree in Geomatics and Surveying. National Agency for Quality Assessment and Accreditation (ANECA) Spain, pp.118 – 148.

[12] National Research Council (2006). Learning to Think Spatially. The National Academy Press DOI: <https://doi.org/10.17226/11019>

[13] Hegarty, M., Keehner, M., Khooshabeh, P., Montello, D.R. (2009). How spatial ability enhances, and is enhanced by, dental education. *Learning and Individual Differences* 19 (1): 61–70.

[14] Sorby, S.A. (2009). Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of Science Education* 3 (1): 459-480.

[15] Sorby, S.A. (2009). Developing 3-D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal* 63 (2): 21–32.

[16] Wai, J., Lubinski, D., Benbow, C.P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology* 101 (4): 817–835. dx.doi.org/10.1037/a0016127

[17] Liben, L.S., Kastens, K.A., Christensen, A.E. (2011). Spatial foundations of science education: the illustrative case of instruction on introductory geological concepts. *Cognition and Instruction* 29 (1): 45–87.

[18] Uttal, D.H., Meadow, N.G., Tipton, E., Hand, L.L., Alden, A.R., Warren, C., Newcombe, N.S. (2013). The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin* 139 (2): 352-402.

- [19] Smith, I.M. (1964). Spatial ability: Its educational and social significance. London: The University of London Press.
- [20] Kim, M., Bednarz, R. (2013). Development of critical spatial thinking through GIS learning. *Journal of Geography in Higher Education* 37(3): 2013, 350-366.
DOI: [dx.doi.org/10.1080/03098265.2013.769091](https://doi.org/10.1080/03098265.2013.769091)
- [21] Madsen, L. M., Rump, C. (2012). Considerations of How to Study Learning Processes when Students use GIS as an Instrument for Developing Spatial Thinking Skills. *Journal of Geography in Higher Education* 36 (1), 97-116. DOI: [dx.doi.org/10.1080/03098265.2011.576336](https://doi.org/10.1080/03098265.2011.576336)
- [22] Eley, M. G. (1987). Colour-layering and the performance of the topographic map user. *Ergonomics* 30 (4): 655–663.
- [23] Andrade, L.A., Espitia, C., Huerta, E.A., Aldana, D.R., Bacca, P.A. (2012). *Tocar o Mirar: Comparación de Procesos Cognitivos en el Aprendizaje con o sin Manipulación Física*. *Psicología Educativa*. Vol. 18 Issue 1, p29-40. 12p..
- [24] Álvarez, F. (2011). Rastrear proyectos, contar historias. *Diagonal*. no. 28, pp. 10 – 13.
- [25] Carazo, E., Galván, N. (2014). Aprendiendo con maquetas. Pequeñas maquetas para el análisis de arquitectura. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, no. 24, pp. 62–71.
- [26] Knoll, W., Hechinger, M. (2005) *Maquetas de arquitectura. Técnicas y construcción*. 6ª Ed. Barcelona: Ed. Gustavo Gili S.A.
- [27] Pérez, T., Ferreiro, I., Pigem, R., Jover, R. T., Serrano, M., Díaz, C. (2006). Las maquetas como material didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la lectura e interpretación de planos en la ingeniería. En: XVIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica: diseño e innovación: actas del congreso: Sitges 31 de Mayo, 1 y 2 de Junio de 2006. Barcelona: INGEGRAF, ISBN 84-689-8593-7.
- [28] Zevi, B. (1964). *La Storia come metodologia operative*. Conference dictated in the assembly hall of the University of Rome in December 1963 and published as a leaflet in 1964, and included in Zevi, B. (1973) *Il linguaggio moderno dell'Architettura*. Turín, Einaudi. Spanish translation in *Summarios*, year 1, nº 5, Buenos Aires, February/March 1977. pp. 9-14.
- [29] Canessa, E., Fonda, C., Zennaro, M., (2013) 1st International Workshop on Low-cost 3D Printing for Science, Education and Sustainable Development. 6–8 May 2013. Trieste, Italy.
- [30] Adánez, G., Velasco, A. (2002). Predicting Academic Success of Engineering Students in Technical Drawing from Visualization Test Scores. *Journal for Geometry and Graphics* , 6 (1), pp. 99-109.
- [31] Saorín, J. L., Navarro Trujillo, R., Martín Dorta, N., Martín Gutiérrez, J., Contero, M. (2009). La capacidad espacial y su relación con la ingeniería. *DYNA-Ingeniería e Industria*, 84 (9), pp. 721-732.
- [32] Carbonell C., Bermejo, L.A. (2017). Augmented reality as a digital teaching environment to develop spatial thinking. *Cartography and geographic information science*, vol. 44, no. 3, 259–270.
- [33] Carbonell C., Avarvarei, B. V., Chelariu, E.L., Draghia, L., Avarvarei, S. C. (2016). Map-Reading Skill Development with 3D Technologies, *Journal of Geography*, DOI:

<http://dx.doi.org/10.1080/00221341.2016.1248857> of Engineering Education, vol. 31 no. 3, pp. 805–813.

[34] Corbalán, F., Martínez, F., Donolo, D., Alonso, C., Tejerina, M., Limiñana, R. (2006). CREA. Inteligencia creativa. Una medida cognitiva de la creatividad. Manual (2ª edición). Madrid: Tea Ediciones.

[35] Monreal C.A. (2000). ¿Qué es la creatividad? Biblioteca Nueva. Madrid, España. ISBN: 9788470308734

[36] Blanco, A. (2009). Desarrollo y evaluación de competencias en Educación Superior. Editorial Narcea S.A. ISBN: 9788427717787

[37] Tuning Project Competences. From Tuning. Educational Structures in Europe. (2000)

[38] Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, Libros Blancos.

[39] Liu, Z. H. E., Schönwetter, D. J. (2004). Teaching Creativity in Engineering. International Journal of Engineering Education, 20 (5), pp. 801-808.

[40] Boy, G. A. (2013). From STEM to STEAM: Toward a Human-Centered Education. Proceeding of the 31st European Conference on Cognitive Ergonomics. (p. Art. No 3). New York: ECCE. DOI: 10.1145/2501907.2501934

[41] De la Torre, S. (1991). Evaluación de la creatividad. TAEC, un instrumento de apoyo a la reforma. Madrid: Editorial Escuela Española, S.A.

[42] De la Torre-Cantero, J., Saorín, J.L., Melián, D., Meier, C. (2015). STELLA 3D: Introducing Art and Creativity in Engineering Graphics Education. The International Journal