

Análisis de las diferentes técnicas y procedimientos para el prototipado de modelos 3D del terreno

Analysis of different techniques and procedures for prototyping 3D terrain models

J. Espinosa Payer, L. Romero y M. Domínguez

REVISTA **MAPPING**

Vol. 24, 172, 14-25

julio-agosto 2015

ISSN: 1131-9100

Resumen

En este trabajo se analizan los métodos y técnicas actuales para el prototipado de modelos físicos del terreno. Se estudian los métodos controlados por ordenador y especialmente los métodos aditivos o impresión 3D y los métodos por eliminación de material por CNC.

También se resumen las principales aplicaciones del mapping 3D, pues es un mercado que está poco explotado y hay muchas áreas de trabajo que se pueden beneficiar de estos prototipos de mapas.

Finalmente se presenta una comparativa de los dos métodos analizados, destacando las ventajas de cada caso y se proponen las líneas de trabajo para reutilizar estos modelos mediante eliminación de material y darles un segundo uso, especialmente indicado para tareas de planeación y ver la evolución temporal de proyectos de arquitectura.

Abstract

In this work, we studied the available techniques for mapping prototyping.

The study focus on methods controlled by computer especially additive methods 3D print and material removal methods by machining. It is necessary comment about the main applications of 3D mapping because it is a market that is not exploited and there are many working areas can benefit of those maps prototypes.

Finally, both methods are compared and analyzed watching advantage in each case and a working line for reusing those terrain models is proposed by removing material, especially indicated for planning works it allows to see the evolution of architecture projects.

Palabras clave: mapas 3D, modelado 3D, prototipado, impresión 3D, mecanizado.

Keywords: 3D mapping, 3D modeling, prototyping, 3D print, machining.

Ingeniería del Diseño,
Universidad Nacional de Educación a Distancia - UNED
jepinosa130@alumno.uned.es

Recepción 16/02/2015
Aprobación 25/03/2015

1. INTRODUCCIÓN

La generación de mapas 3D o modelos a escala del terreno es una técnica existente desde que aparecieron los modelos digitales del terreno, de hecho existen muchas formas de obtener modelos del terreno, de igual forma las aplicaciones que podemos dar a la representación del terreno a escala son variadas, desde educación, a estudios de fenómenos naturales, desastres naturales, expansión y planificación del territorio, etc. Las escalas que más se manejan para estos modelos son: 1:500 para anteproyectos generales, hasta 1:2.000 para planos de localización (Urbanismo, topografía, vías) y escalas entre 1:10.000 y 1:20.000 para mostrar regiones más grandes a modo de paisaje.

En lo que respecta a la obtención de mapas 3D, los métodos por eliminación todavía superan a los métodos aditivos, teniendo en cuenta la expansión de las impresoras 3D en los últimos años.

La principal diferencia entre los métodos aditivos y los de eliminación de material, se refiere al tamaño de los modelos, mientras que en la impresión 3D es necesario dividir el modelo en varias partes para completar un modelo de grandes dimensiones, con los métodos por eliminación es posible construir modelos más grandes. En contra la impresión 3D ofrece la posibilidad de representar cavidades del terreno y voladizos, circunstancia que no es posible conseguir con la eliminación de material.

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MODELOS FÍSICOS DEL TERRENO

El modelo del relieve en definitiva es una representación en tres dimensiones a escala de una parte de la superficie de la tierra, que transmiten una impresión inmediata directa de un paisaje y son mucho más intuitivos para la mayoría de la gente que los de dos dimensiones. Un mapa plano de dos dimensiones solo puede retratar la tercera dimensión a través de soluciones cartográficas, tales como líneas de contorno, sombras del relieve y signos especiales. Por ello, en los últimos años encontramos diversos intentos de mostrar la cartografía de forma diferente, como por ejemplo las imágenes holográficas, que se están empezando a utilizar para visualizar entornos urbanos cambiantes (Groenendyk, M., 2013).

El mayor inconveniente de los modelos del terreno son el volumen requerido y las dificultades de transporte por la extensión y particularmente por su peso. Los primeros modelos en yeso estaban mayormente afectados por estos inconvenientes, mientras que los modelos en termoplástico son fáciles de transportar. Otra desventaja es su costo

de producción en ambos casos el tiempo y recursos. Las nuevas tecnologías basadas en control numérico pueden ser capaces de acortar los tiempos de producción y reducir los costes (Institute of Cartography and Geoinformation, 2014).

Uno de los condicionantes de un modelo del terreno a escala es el color (Stani & Lozo, 2010), como se comentará posteriormente el color es un factor fundamental que en los métodos actuales más avanzados todavía implica bastantes dificultades y condicionantes, pues no todas las máquinas de impresión o de eliminación de material añaden el color de forma automática en los modelos.

3. PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS MODELOS FÍSICOS DEL TERRENO

Los modelos físicos del terreno por lo general, y dadas las dimensiones que tienen, suelen estar destinados a instituciones donde haya participación pública o el encuentro de diferentes profesionales por ejemplo: instituciones políticas, protección civil (fuego, policía, búsqueda y rescate) oficinas de gestión territorial (construcción, ingeniería civil, y actividades recreativas), promotores inmobiliarios, agencias de transporte, turismo, empresas de servicios públicos (aceite, gas, y agua), arquitectos, museos, fomento, comunidades autónomas y agencias municipales.

Además las áreas de ingeniería civil, arquitectura, pueden hacer un uso de estos modelos físicos con indudables ventajas (Ghawana & Zlatanova, 2013). En el caso de ingeniería civil y arquitectura la presentación de proyectos con la situación sobre una parte de la superficie de la tierra de los edificios e infraestructuras que describen el entorno del proyecto, pueden dar como resultado unos modelos de gran impacto visual, tanto para los clientes, a los que van dirigidos los proyectos, como para los propios directivos o en tareas de planificación (Polidoro, M., 2013).

Por otra parte estos modelos han encontrado en los Sistemas de Información Geográfica y colectivos afines como cartógrafos, geógrafos o profesionales de la Geomática, un área importante de trabajo. Esta área dispone de la mayor fuente de datos de modelos digitales del terreno, en la mayoría de los casos tienen a disposición la superficie de un país combinada con ortofotos, mapas vectoriales, etc. Lo más interesante en este caso es que la información del Modelo Digital del Terreno puede ser combinada con multitud de capas de cualquier tipología, para hacer análisis con diferentes aplicaciones. Otra metodología muy utilizada para planeación del territorio es la de analizar el entorno del pro-

yecto respecto a usos del suelo y cambios en la topografía, como pasos previos a cualquier actuación, los SIG son las herramientas más adecuadas para estos estudios previos (Esam, I., 2012).

4. TÉCNICAS CONTROLADAS POR ORDENADOR PARA LA GENERACIÓN DE MODELOS DEL TERRENO

Existen diferentes técnicas para la creación gestionada por ordenador para modelos del terreno. Se pueden dividir en técnicas subtractivas, aditivas o dinámicas.

Previo al análisis de las técnicas subtractivas y aditivas resulta conveniente destacar dos técnicas poco conocidas pero muy interesantes e innovadoras.

4.1. Técnicas dinámicas

Este método permite generar un modelo en un corto espacio de tiempo. En este método una malla de alfileres situados sobre una tabla, permiten a cada clavo desplazarse verticalmente. Una hoja de goma, descansa sobre este campo de alfileres y es presionado sobre las clavijas por medio de vacío. Los diferentes clavos verticales forman juntos una superficie aproximada del terreno representado, mientras un proyector, situado verticalmente sobre el modelo, proyecta una imagen (un mapa o una vista aérea o una imagen de satélite) de la región mostrada sobre la hoja de goma.

La precisión de tal modelo es baja, pero la capacidad de cambiar es muy rápida, lo que puede ser interesante para aplicaciones militares, en la Figura 1 podemos ver un ejemplo.

Otros métodos dinámicos que están cobrando importancia son las llamadas, camas de arena, donde por medio de proyectores se puede ver la proyección de curvas de nivel sobre una superficie de arena que puede ser modificada con las propias manos (Weaver, K., 2013).

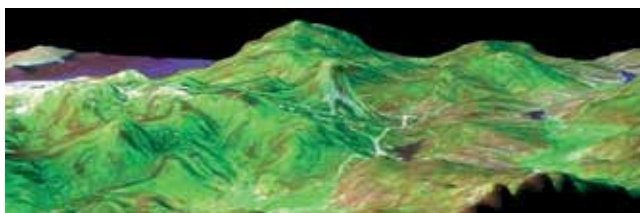


Figura 1. Mesa con terreno dinámico producido por Northtrop Grumman. (Institute of Cartography and Geoinformation, 2014)

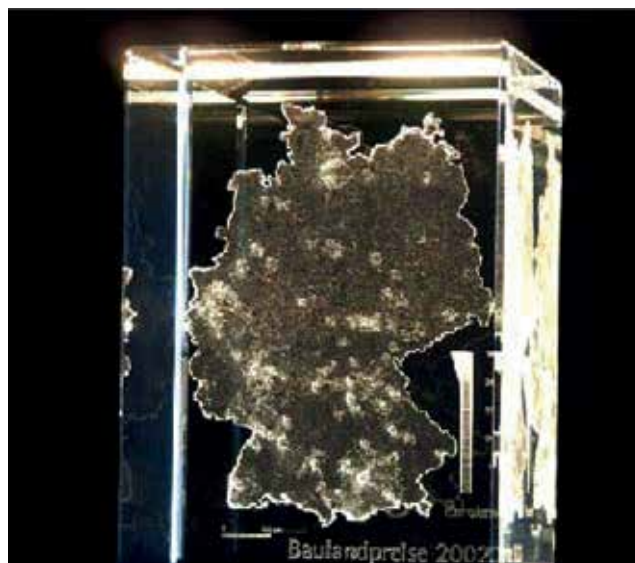


Figura 2. Superficie 3D sobre bloque de vidrio con grabado láser. (Institute of Cartography and Geoinformation, 2014)

4.2. Grabado por láser bajo superficie

El grabado por láser bajo superficie (también conocido como grabado láser) es ejecutado por un dispositivo controlado por ordenador donde un rayo láser centrado funde una pequeña mancha dentro del bloque de vidrio, destruyendo localmente la transparencia del material. Las partes fundidas se convierten en una imagen 3D, la cual podría representar un edificio, un retrato humano, o una superficie cartográfica. El rayo láser y su centrado son movidos en relación al bloque de cristal usando datos derivados de una representación numérica del objeto. Es obvio que el proceso de fundido tiene que empezar con la capa más alejada hacia adentro, de otro modo el rayo láser estaría oculto por el material previamente fundido como vemos en la Figura 2.

5. MÉTODOS BASADOS EN LA ELIMINACIÓN DE MATERIAL

En este caso el material base es un bloque de yeso, resina, madera o composite, donde una fresadora crea un relieve eliminando todo el material en la capa superior del terreno. El material restante representa el modelo. Esta técnica por eliminación es la más clásica basada en métodos informáticos para crear modelos del terreno, y está en uso desde los primeros modelos digitales del terreno existen.

La maquinaria se guía mediante control numérico y software específico que en muchos casos está directamente integrado en la máquina de fresado. En otras ocasiones a partir de un programa de diseño se genera el código necesario para enviar las trayectorias de corte a la

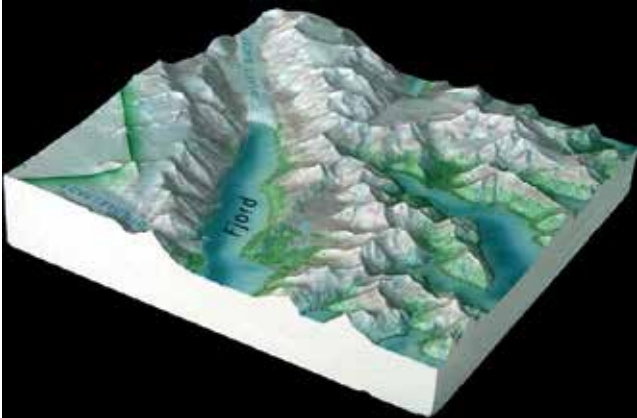


Figura 3. Modelos con color directamente impreso. (manufactured by solid terrain modeling)

máquina. El código G-Code es el que más comúnmente se utiliza para generar trayectorias en máquinas de fresado.

A continuación se presentan diferentes desarrollos comerciales para la generación de modelos físicos.

5.1. Solid Terrain Modeling STM

Los modelos del terreno ofrecidos por esta empresa están considerados como el estándar en el mercado de los mapas 3D físicos. La principal ventaja respecto a otras opciones y también respecto a la impresión 3D es el tamaño de los modelos, muy superior a los ofrecidos por las máquinas de impresión 3D cuya superficie de construcción está alrededor de 25 x 25 cm, las dimensiones de modelado de STM son de 90 x 120 cm.

Otro factor determinante de esta tecnología es la posibilidad de añadir color directamente sobre el modelo terminado mediante impresoras personalizadas con cabezales de inyección de tinta. Con este sistema de impresión de cabezales móviles se puede imprimir sobre el modelo imágenes de satélite de alta resolución sobre los modelos (SolidTerrainModeling, 2014). Podemos ver un ejemplo de uno de estos modelos impresos en la Figura 3 y 4.

5.2. 2Bot Corporation

Fabricación de modelos del terreno mediante eliminación de material.

Esta compañía centra su actividad en las aplicaciones 3D de Geomodelado, a partir de un nuevo *hardware* y *software* para la fabricación por eliminación de modelos a escala. Su *Modelmaker* es una máquina compacta de fresado, o de escritorio por control numérico con un sofisticado *software* adaptado para generar archivos de mapas en 3D desde el programa ArcGIS (2BotCorporation, 2014).

En vez de usar una resina propia como en la impresión 3D, la máquina 2Bot emplea materiales habituales como poliestireno extruido. El material para el *ModelMaker* es muy barato en torno a 0.30 € tablero de 30cm x 30cm de



Figura 4. Modelo de STL 91 x 137cm. Planificación y desarrollo de viviendas 91 x 137cm. (SolidTerrainModeling, 2014)

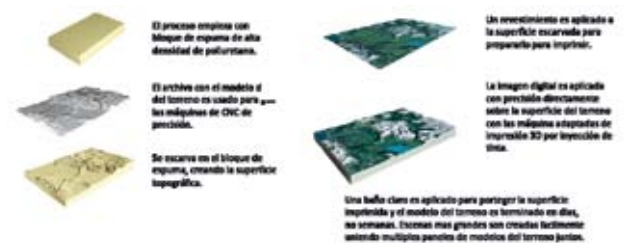


Figura 5. Proceso de STM. (SolidTerrainModeling, 2002)



Figura 6. Máquina de corte de STM. (SolidTerrainModeling, 2002)



Figura 7. Impresora personalizada de STM. (SolidTerrainModeling, 2014)

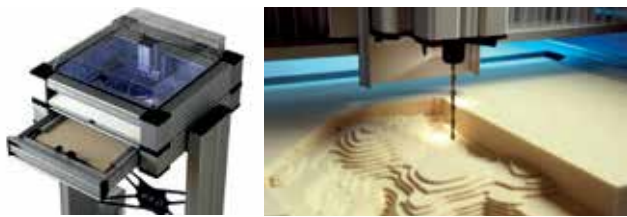


Figura 8. Máquina de escritorio de mecanizado Modelmaker. (2BotCorporation, 2014)



Figura 9. 2bot: proceso de mecanizado sobre espuma. (2BotCorporation, 2014)

lado, en contraposición a los 250-1500€ por tablero de las mismas dimensiones de los sistemas aditivos. El material es tan adecuado, que construir un modelo no es una decisión económica. La superficie actual de construcción es de 30 x 30 x 5 cm, como vemos en la Figura 8 el Model-Maker incorpora una carcasa para que la viruta quede en el interior de la cámara de construcción, favoreciendo su uso en entornos de oficina.

5.3. Gison3dmap

Otro interesante desarrollo en el mundo de los mapas 3D es la solución que ofrece esta empresa portuguesa, que combina modelos del terreno en 3D con proyectores situados sobre el techo que van mostrando imágenes sobre el mapa. El sistema está preparado para representar información geográfica, a través de clientes GIS (gison3dmap, 2014).

Como ocurre en estos grandes modelos los



Figura 10. Detalle de los proyectores y el cliente multimedia que suministra las imágenes. (2BotCorporation, 2014)

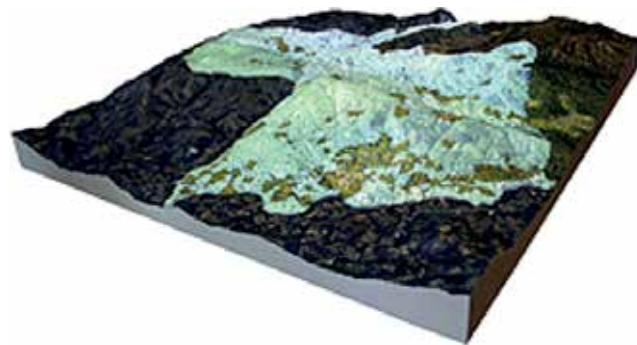


Figura 11. Parque natural de la región de Melgaco. (2BotCorporation, 2014)

Material	Fabricante	Tipo	Densidad	Dimensiones	Esposores	Resistencia a la compresión
Espuma rígida de poliuretano de alta densidad.	Poliuretanos	PUR D35	35 Kg/m ³	2500x200mm y 2000 x 1000mm	Cualquier espesor	100-180kpa
Espuma rígida de poliuretano de alta densidad.	Poliuretanos	PUR D40	40Kg/m ³	2500x200mm y 2000 x 1000mm	Cualquier espesor	120-240Kpa
Espuma rígida de poliuretano de alta densidad.	Poliuretanos	PUR D70	70Kg/m ³	2500x1000mm	Cualquier espesor	300-460Kpa
Espuma rígida de poliuretano de alta densidad.	Poliuretanos	PUR D80	80Kg/m ³	2000x1000mm	Cualquier espesor	360-600Kpa
Espuma rígida de poliuretano de alta densidad.	Poliuretanos	PUR D100	100Kg/m ³		Cualquier espesor	800 Kpa
Poliestireno expandido	Poliuretanos	PUR D80	28Kg/m ³	1180x2-5m	50-60-80-100-125-150-175-200 mm	100 Kpa

Tabla 1. Materiales plásticos para modelado por eliminación de material. (www.poliuretanos.com)

principales clientes de esta tecnología son museos, centros de interpretación y organizaciones con participación pública.

Como los proyectores tienen una resolución limitada, y el tamaño del pixel proyectado se incrementa con la distancia de proyección que depende del tamaño del mapa, esto conlleva a mantener el tamaño del pixel proyectado dentro de límites aceptables, por lo tanto puede requerir múltiples proyectores dedicados a parte independientes del mapa como vemos en la Figura 10.

Destaca de esta tecnología el calibrador de *gison3d-map*, donde por medio de *software* el sistema es capaz de seleccionar varios archivos de imagen para cada proyector y seleccionar el área del mapa 3D donde se van a proyectar mediante chequeo de coordenadas e incorporando al *software* el DTM original a partir del cual fue creado el modelo físico 3D. El proceso de calibración se puede consultar con detalle en la WEB (<http://www.gison3dmap.com/>).

En la Tabla 1 se muestra la tipología y características de los materiales más comunes utilizados para el modelado del terreno por eliminación de material.



Figura 12. Detalle de Eiger (Suiza) 1:12.500 Mika Semann, Creado usando técnicas de prototipado rápido con capas de 0.15mm de espesor. (Swiss Alpine Museum)

6. MÉTODOS BASADOS EN ADICIÓN DE MATERIAL. IMPRESIÓN 3D

Se han desarrollado diferentes técnicas en los métodos aditivos que empiezan desde una capa base y construyen el modelo añadiendo una serie de capas superpuestas. En comparación con las técnicas sustractivas, estos métodos pueden crear cavidades y pueden representar modelos de edificios muy detallados.

Esta técnica, también conocida como prototipado rápido

	ADDITIVE MANUFACTURING		LAMINATED		FUSION LASER		EXTRUSION	INK PRINTED
	SLA	SEC	LOM	SDI	SLS	FDM		
Principales fabricantes	3D System, Formlabs, mUVe 3D LLC	Cabital Inc.	Helixis, Fabriconic (Solidica)	Mkor's 3D print	DTM corp, Matsuba Machinery, EOS	3D system, Stratasys, RepRap project	Z Corporation, Voxyjet	
Precio	600€-5000€	100.000 €	20000€-130000€		400.000 €	200€-3000€	50.000 €	
Área de construcción cm	150 x 75 x 55	50.8 x 25.5 x 50.8	83.3 x 55.9 x 50.8	25.6 x 16.9 x 25.0	71.1 x 48.3 x 48.3	95.4 x 61.0 x 51.4	25.4 x 38.1 x 20.3	
tipo de material	líquido	líquido	Sólido	Sólido	polvo	líquido	líquido	
Material	fotopolímero y resina	fotopolímero y resina	Papel, aluminio y PVC	Papel	Termoplástico, polvo de metal, polvo de cerámica	Termoplástico, polvo de metal y comita	Pulvo a base de almidón y yeso	
Uso de Laser	Si	No	Si	No	Si	No	No	
Uso de soportes	Si	No	No	No	No	Si	No	
Uso post-proceso	Si	No	No	Si	No	No	No	
Posibilidad de color	No	No	No	Si	No	No	Si	

Tabla 2. Métodos de impresión 3D. (Infante Martín, 2012)

o impresión 3D, añade capas verticalmente, y aunque podrían ser muy delgadas, normalmente permanecen visibles al final del proceso de producción como podemos ver en la Figura 12, lo que constituye la mayor desventaja de esta técnica. El principal inconveniente de la impresión 3D para el prototipado de mapas es el reducido tamaño de los modelos que no superan los 25 x 25 cm de área de construcción. Sin embargo tiene la posibilidad de añadir color a los modelos, variable muy importante en cartografía, aunque esta técnica resulta costosa.

En la Tabla 2 se muestra las características de los métodos de impresión 3D actuales. Estereolitografía SLA, fotopolimerización SGC por luz ultravioleta, fabricación por corte y laminado LOM, deposición selectiva de laminado SLS, modelado por deposición de hilo fundido FDM, sinterizado selectivo por láser SLS, 3Dprint.

La posibilidad de imprimir modelos del terreno es cada vez más asequible gracias a los Sistemas de Información Geográfica y las Infraestructuras de Datos Espaciales que ofrecen la posibilidad de descargar de forma masiva, modelos digitales del terreno de toda la superficie de un país.

Además el mundo de los SIG apuesta por el *software* libre, por ejemplo, existe una aplicación capaz de exportar ficheros STL para imprimir mapas, que funciona bajo el programa de SIG libre, Kosmo, esta aplicación permite controlar los parámetros de impresión de una máquina de FDM a partir de un modelo digital del terreno previamente cargado en el programa Kosmo (Venceslá, J., 2014). Básicamente lo que ofrece este programa es la posibilidad de convertir el modelo digital del terreno en un formato adecuado para la impresión 3D, en este caso el formato es el STL que es el estándar de los formatos de impresión 3D. En otras palabras, el programa convierte un modelo digital ráster en una malla de triángulos en un formato adecuado. Otros formatos de impresión utilizados son: VRLM, PLY, 3DS, ZPR.

El mundo de los SIG está cobrando importancia en los últimos años ya que suministran los mapas y datos necesarios a las nuevas tecnologías geoespaciales, tales como dispositivos móviles con sistemas de posicionamiento, portales WEB con cartografía online, imágenes georreferenciadas, etc. En el mundo del geomodelado hay trabajos importantes sobre cómo transformar los datos de los modelos digitales del terreno a los diferentes formatos de impresión 3D, en la mayoría de los casos desde programas SIG (Agrawal, S., Apr 2014).

7. IMPRESIÓN 3D EN COLOR

El color es una variable esencial en cartografía y en la visualización de modelos. Hasta hace unos años la aplicación directa de color durante la fase de construcción no estaba disponible, y el modelo en bruto tenía que ser coloreado

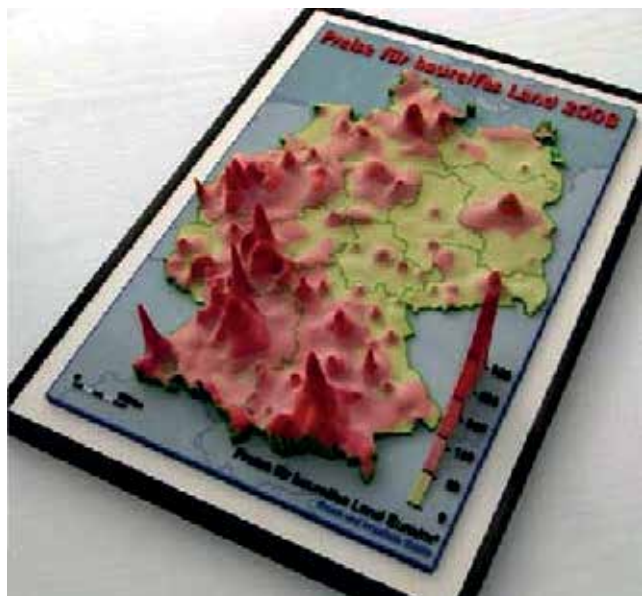


Figura 13. Precios medios por superficie para la construcción de viviendas en Alemania. Fuente: (Rase, W.D., 2009)



Figura 14. Modelo de una explotación minera. (minebridge, 2014)

manualmente.

El primer impresor 3D con capacidad integrada de color de alta resolución fue introducido en 2001 por la compañía *ZCorporation*.

Las impresoras de *ZCorporation* eran hasta hace poco los únicos dispositivos en el mercado que proveían piezas multicolor. En este sentido destaca la impresora 3D Z650, que aplica color CMYK real con una resolución de 600 x 540 dpi. La capacidad de añadir color integrada dentro del proceso de construcción abre muchas nuevas aplicaciones para el prototipado rápido aparte de para la cartografía y el SIG.

Recientes investigaciones han desarrollado metodologías para aplicar color en las impresoras de bajo coste por FDM, mediante la aplicación de color al hilo de material fundido en el momento de la deposición (LabsKikai, 2014).

Algunas consideraciones a tener en cuenta a la hora de imprimir en color se pueden consultar en Stanic, M. 2010 donde se desarrolla el procedimiento a seguir en la aplicación de color en 3D. Algunos ejemplos de la impresión 3D los podemos encontrar en el departamento de «*Federal Office for Building and Regional Planning, Bonn, Germany*» (RASE,



Figura 15. Impresión 3D de Mcor's: eliminando el material. (Mcors, 2013)



Figura 16. Mcor's 3D print: Naranja, Mapa y Calavera después del desbastado. (MacCormack, 2013)

W.D., 2006) donde se ofrece una visión de la impresión 3D bastante curiosa pues muestra información estadística típica de los SIG en 3D. Este autor se centra en ofrecer aplicaciones de modelos físicos para cartografía (RASE, W.D., 2006).

Otro ejemplo que utiliza la impresión a color para representación de modelos del terreno es *Minibridge*, que junto con *whiteclouds*, se centran en la obtención de modelos del terreno de explotaciones mineras, Figura 14, y combinan datos topográficos con imágenes de satélite para ofrecer a los potenciales clientes nuevas ubicaciones para explotaciones mineras. Utilizan la impresora *3DSystems full-color ProJet 660Pro*, y el software *Muck3D* (*whiteclouds*, 2014).

Una técnica novedosa de impresión 3D, que además es capaz de imprimir en color, es la que ofrece la empresa americana *Mcor's 3D Printing Technology*. El sistema es especialmente adecuado para la impresión de modelos del terreno de grandes dimensiones como se puede ver en la Figura 17 pues el material que utiliza es el papel.

El método de trabajo de esta impresora es el SDL, *Selective Deposition Laminated*, como comentan los fundadores de la empresa (Fintan and Conor MacCormack, 2013) el nombre se debe a que la máquina deposita material aglutinante en el borde del contorno de los objetos a construir, y en el interior de cada capa del modelo de forma más reducida. Por otro lado las hojas de papel se imprimen con la forma del contorno de cada capa y se aplica color por ambos lados, después



Figura 17. Imagen de la maqueta de Barehin impresa en papel. (MCS, 2014)

la máquina corta el contorno de la pieza a construir en cada capa. Finalmente la pieza debe ser desbastada eliminando el papel sobrante como vemos en la Figura 15.

A diferencia de otras tecnologías, *Mcor's 3D printers* no requiere de baño de la pieza en químicos o el empleo de instrumentos cortantes para eliminar las estructuras de soporte, aspirador de polvo, o infiltración. Un modelo de *Mcor* no se desmoronará o hará añicos.

Algunos ejemplos interesantes del uso de esta impresora para el prototipado de mapas es el que ofrece la empresa *Micro Cadd Services* (MCS, 2014). Además de crear modelos de edificios, MCS ha creado uno de los modelos más grandes del mundo de un país entero como Bahrain. El modelo a escala 1:10.000, de 5.4 metros de largo por 2.2 metros de ancho aparece en la Figura 17.

Por último otra de las aplicaciones de la impresión 3D muy novedosa, es la de las aplicaciones para Geología, como por ejemplo la impresión de secciones en mapas geológicos para ver los estratos. Por otro lado se ha empezado a introducir la impresión 3D para generar modelos de rocas con diferentes configuraciones respecto a fracturas y porosidad, para estudiar el interior de las rocas, ofreciendo indudables avances a la hora de modelizar el flujo y la retención de agua (Hasiuk, F., 2015).

8. APLICACIONES DE LA IMPRESIÓN 3D EN ARQUITECTURA

Una de las áreas que más impulso está dando a la impresión 3D se concentra en el campo de la arquitectura, ya que para sus maquetas y presentación de los proyectos es necesario utilizar las máquinas de impresión más precisas y los procesos más caros. Este área de trabajo está relacionada con el prototipado, porque en muchas ocasiones los proyectos de arquitectura necesitan mostrar el estado actual y futuro de los elementos constructivos respecto al entorno donde se sitúan,

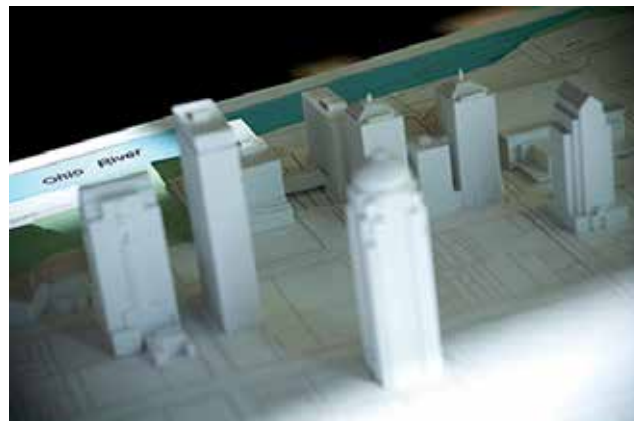


Figura 18. Modelos de edificios reales de la ciudad impresos en 3D a escala 1:1.000. (Festival de Ideas de Kentucky)

haciendo necesario la construcción de mapas en 3D para localizar y visualizar todos los elementos del proyecto como se muestra en la Figura 18.

Uno de los problemas más comunes en la impresión de maquetas es la necesidad de ampliar la escala de elementos, por ser demasiado pequeños, para ser definidos por las impresoras, en esos casos hay que modificar la escala de los elementos puntuales del modelo como pueden ser barandillas o escaleras. Manuel Domínguez propone una línea de trabajo para incluir módulos en los programas de diseño que sean capaces de cambiar la escala de elementos individuales del modelo que por las reducidas dimensiones deban ser exagerados. Para conseguir esto, el programa deberá conocer las características de la máquina impresora, en cuanto a sus limitaciones en precisión y resolución (Domínguez, M., 2013).

La importancia en cuanto a precisión de objetos a pequeña escala a la hora de imprimir maquetas, puede depender de varios factores, como por ejemplo imprimir una pieza de forma vertical u horizontal, da como resultado partes más estables que otras, además aspectos como el acabado superficial o anchura final de las capas son factores muy a tener en cuenta (Lemu, H.G., 2011).

Otro de los inconvenientes de las maquetas en arquitectura es la asociada a la hora de imprimir nuevos elementos sobre las maquetas existentes cuando el modelo ya está terminado, ya que cualquier modificación en el proyecto hace que sea necesario tener que volver a imprimir la maqueta completa.

La propuesta de imprimir nuevos elementos sobre maquetas existentes mediante brazos robotizados resulta muy interesante, aunque aún lo sería más si se pudieran eliminar partes del modelo construido, por problemas detectados antes de obtener el producto final, y de este modo no tener que imprimir de nuevo la maqueta entera (Domínguez, M., 2013).

En este sentido destaca la línea de trabajo que se plantea en este artículo sobre la reutilización de modelos físicos del terreno, ya sean impresos en 3D o moldeados con máquinas de mecanizado CNC. Para tal efecto se debe utilizar el mecaniza-



Figura 19. Maqueta de San Francisco (Steelblue)

do por CNC sobre los modelos originales, para después añadir nuevos elementos al mismo, ya sean edificios, puentes, o simplemente si queremos representar la evolución en el tiempo de algún fenómeno, como puede ser el avance de una mina a cielo abierto (Hicham, K., Kamal T.K., 2013). Como veremos en los ejemplos propuestos de trabajos posteriores, la posibilidad de hacer modificaciones en modelos de mapas 3D, es relativamente fácil con procesos de corte por fresado, sobre todo considerando que los materiales a eliminar son espumas de poliuretado, ABS, o similares y podemos utilizar software libre para las simulaciones de mecanizado (Visualmill, 2015).

En el caso de las maquetas en arquitectura, la posibilidad de eliminar elementos ya construidos es mucho más complicado, pues si bien se podrían utilizar cabezales de corte alargados para que la maquinaria no choque con los elementos de la maqueta, deberíamos tener en cuenta fresadoras de varios ejes para eliminar material en las zonas más complicadas. Otra posibilidad sería la de girar los modelos en diferentes posiciones para ayudar en las tareas de eliminación de material. Entre los inconvenientes de esta solución aparecerían problemas en la estabilidad del material en los elementos más finos, ya que al aplicar los elementos de corte sobre algunas partes del modelo, se desmoronarían otras partes, así que este método sólo serviría para ciertos modelos robustos. Otra opción sería la de hacer modificaciones sobre maquetas impresas al 100% de relleno, lo que les daría más estabilidad a la hora de realizar

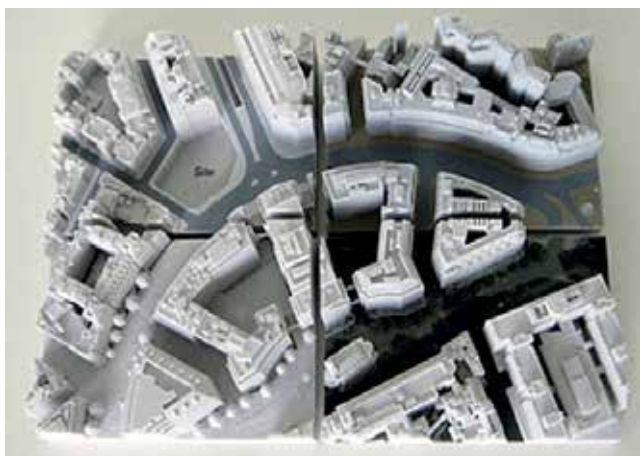


Figura 20. Separación del modelo en 4 sectores. (<http://3dprinterlog.blogspot.co.uk>, 2013)

las tareas de mecanizado.

Se puede destacar en este sentido el modelo de la ciudad de San Francisco que la agencia de marketing creativo *Steelblue*, en la que cada manzana del mapa puede ser levantada y reemplazada para ayudar a los promotores a planificar nuevas construcciones en el entorno del proyecto. De hecho, una sección del mapa muestra el barrio de SOMA no como es ahora, sino como será en 2017 cuando un mayor número de proyectos haya finalizado, Figura 19.

El modelo cubre en total 115 manzanas de la ciudad del noreste de San Francisco unas 7 x 7 millas del distrito financiero y comercial. Fue impreso con dos impresoras *Objet Connex 500*, con una resolución de 16 micras, a escala 1:1.250. El modelo digital fue creado por el equipo de *Steelblue* a partir de fotogrametría, datos de planeamiento de la ciudad y dibujos arquitectónicos. La actual impresión llevo alrededor de dos meses en completarse, dos impresoras funcionando día y noche depositando capa sobre capa de resina.

9. COMPARATIVA DE LAS DOS TÉCNICAS DE PROTOTIPADO DE MODELOS DEL TERRENO, ADITIVAS Y SUSTRACTIVAS

Las dos técnicas basadas en ordenador para la generación de modelos del terreno en 3D ofrecen unas posibilidades muy interesantes para el *Mapping 3D* que no están explotadas a fondo en la actualidad, por ello se abre un interesante mercado ya que los mapas en 3D se pueden utilizar en muchas aplicaciones, como ingeniería civil, SIG, arquitectura, planeamiento, etc.

Mientras que los métodos sustractivos tienen la ventaja de ofrecer modelos más grandes realizados con materiales más ligeros y baratos, todavía subsiste el problema de añadir color



Figura 21. Modelo masivo de Berkeley. Se puede ver en este modelo cómo los edificios están situados sobre un modelo del terreno y se ha excavado sobre el modelo para situar los diferentes edificios. (Howarmodels, 2014)

a los mismos, variable fundamental en cartografía y que solo ofrece la empresa STM.

En este sentido la impresión 3D en concreto las impresoras ZCorp y Mcor's 3D printing Technology, ofrecen la posibilidad de aplicar color real a sus modelos, aunque está claro que la principal desventaja es el precio de esta tecnología a color y la dimensión de los modelos que nos obliga a realizar modelos de mapas en 3D en varios sectores puesto que las dimensiones de impresión no superan los 30 x 30 cm.

Otro factor determinante que posiciona al mecanizado por delante de la impresión 3D en el Mapping 3D, es el tiempo de construcción de los modelos, según presupuestos solicitados a empresas de mecanizado y de impresión 3D, mientras que un modelos de 40 x 40 x 10 cm tardaba en ser completado por una máquina de fresado menos de dos horas, el modelo impreso tardaba dos días.

Para tareas de planeamiento urbanístico, o territorial que engloba a la arquitectura y la ingeniería civil, el modelado de mapas por eliminación de material resulta muy adecuado para presentar proyectos de grandes dimensiones y ver cómo los elementos del proyecto se localizan sobre el entorno real. En la siguiente Figura 21 vemos un claro ejemplo del resultado para planeamiento urbanístico.

En el caso de las impresoras 3D, para generar modelos del terreno que sean adecuados para estos propósitos se requiere un desembolso importante de dinero, en tiempo de impresión, que es muy superior al mecanizado y resulta inevitable dividir el modelo en partes. Por ello la impresión 3D para modelos del terreno se reserva para representar pequeños fenómenos puntuales, ya sean naturales como vulcanología, zonas turísticas, Geología (Arantzazu, 2014), o parajes con importante atractivo natural. En la Figura 22 vemos un ejemplo.

Como vemos la impresión 3D en el campo de la geoimpresión se limita a mostrar fenómenos de manera pasiva, sin embargo se han desarrollado mapas en 3D para la interacción de personas ciegas con mapas donde además del relieve se imprimen caracteres y datos de localización y de la escala en lenguaje braille, (Autoridades cartográficas de Japón, 2014).

10. LÍNEAS DE TRABAJO PARA REUTILIZACIÓN DE PROTOTIPADO DE MAPAS

Como solución a la creación de modelos 3D del terreno y aprovechar su uso en sucesivos trabajos, se pueden combinar máquinas de fresado de bajo coste compactas como el ModelMaker o las fresadoras de escritorio Roland, con impresoras 3D de bajo coste.

El objetivo que se persigue es hacer modificaciones de los

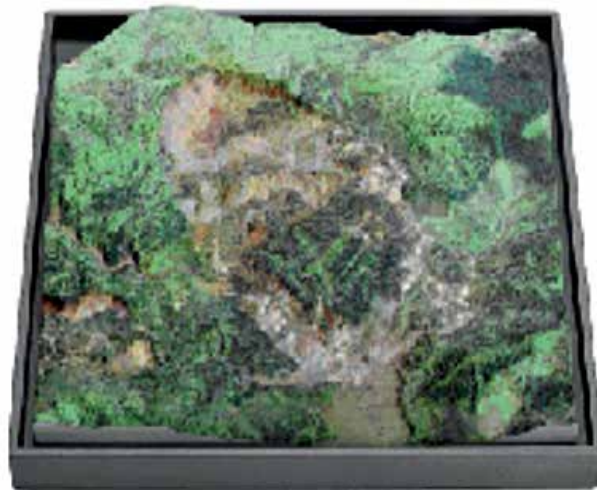


Figura 22. Terremoto de Iwate-Miyagi impreso con impresión 3D a color. (TrustSystem, 2012)

modelos originales mediante eliminación de material, y después añadir nuevos elementos constructivos con impresión 3D o con mecanizado (Figura 23), de este modo se puede reutilizar los modelos del terreno generados previamente. Esta solución es muy recomendable para tareas de planificación urbanística (Qian, M., 2013). Otro ejemplo del uso de modelos del terreno para ser reutilizados en el tiempo es el de la minería (Barettino, D, 2009).

Las características de estas máquinas de fresado compactas son económicamente muy interesantes respecto a su precio, dimensiones de construcción y materiales de construcción. La espuma de poliuretano es muy barata comparada con los materiales que utilizan las impresoras 3D (Stotz, M.H, 2013). En ese caso lo ideal sería tener una máquina de fresado compacta para realizar los modelos base de mapas, y poder modificarlos, y tener cierta independencia. De esta forma se puede visualizar la evolución de proyecto a lo largo del tiempo (Quan, B., 2013) sin tener que imprimir los modelos del terreno partiendo de cero, Figura 23.

Algunos modelos de fresadoras compactas o de escritorio, adecuadas para pequeños estudios de ingeniería, son las que ofrece la marca Roland, la superficie de trabajo efectiva es de 30 x 30 x 10 cm de área de construcción e incorporan una cámara de mecanizado cerrada para que el polvo y la viruta del modelo se almacenen en el interior. Todas tienen asociado un

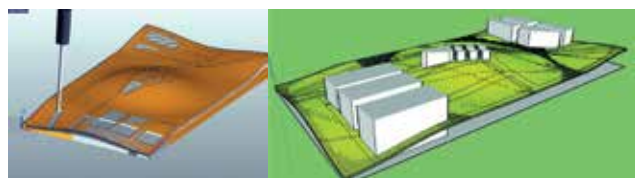


Figura 23. Simulación de mecanizado sobre modelo existente de una urbanización (izquierda), y posterior inserción de maquetas de edificios mediante impresión 3D al mismo modelo modificado (derecha). Simulación con (Visualmill, 2015). (Elaboración propia)

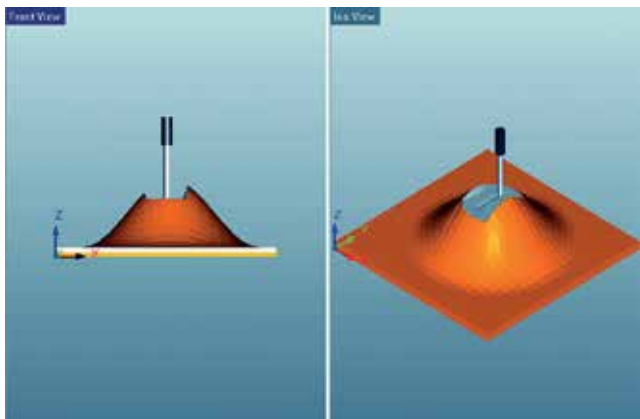


Figura 24. Reutilización de modelos. Mecanizado sobre stock box del terreno original, para situar una carretera en el modelo. Simulación con (Visualmill, 2015). (Elaboración propia)

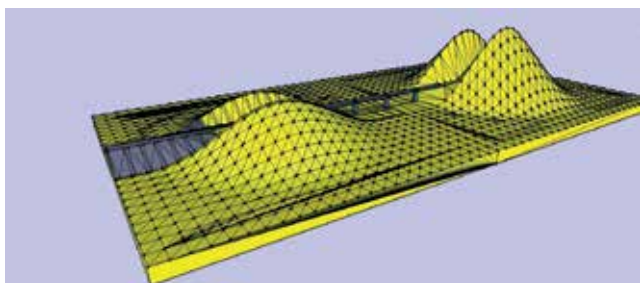


Figura 25. Unión de dos plataformas con terreno que han sido modificadas para el paso de una carretera. Además se pretende añadir un puente y un terraplén de tierra con impresión 3D. La plataforma de la derecha es la de la Figura 24. Simulación con Sketchup. (Elaboración propia)

software incluido y la precisión es óptima en todos los casos.

Por último destacar la máquina de fresado controlada por CNC a la que se le puede acoplar un cabezal extrusor para imprimir en 3D (fresadoras-cnc-mnova), la superficie de trabajo es bastante mayor que las impresoras estándar 3D del mercado, lo que lo hace especialmente indicado para nuestro proyecto, ya que al ser los modelos mecanizados en espuma la fresadora no es necesariamente potente por lo que es ideal para el prototipado de mapas. El área de trabajo de esta máquina depende del modelo adquirido 300 x 210 x 80 mm; 420 x 300 x 80 mm; 600 x 420 x 80 mm.

11. CONCLUSIONES

En este trabajo se han analizado las técnicas actuales respecto al prototipado de mapas físicos del terreno, con especial énfasis en los métodos por eliminación de material y por impresión 3D. Aunque los métodos por mecanizado son más adecuados que la impresión 3D para estos modelos, la solución óptima sería combinar los modelos físicos del terreno con elementos constructivos modelados con impresión 3D.

Se han señalado los materiales utilizados en ambos méto-

Marca	Modelo	Dimensiones	Materiales cortables	Software incluido	Precio
Roland	Monofab SRM-20	203,2 mm x 152,4 mm x 60,5 mm	Cera de Modelado, Madera Química, Espuma, Acrílico, Poliácetal, Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), Circuitos impresos.	Si	4.995 €
Roland	MDX-40A	305 mm x 305 mm x 104 mm	Resinas, tal como productos químicos, madera y cera de modelado (el metal no es compatible)	Si	7.995 €
Roland	MDX-540	498 mm x 399 mm x	Plástico, resina, madera y metales no ferrosos	Si	20.995 €
ZBot	Model Maker	300 mm x 300 mm x 50 mm	Espumas	Si	12.000 €

Tabla 3. Máquinas de fresado compactas. (Roland)



Figura 26. Fresadora para escritorio MDX-40A. (Roland)

dos, y también se analiza la posibilidad de aplicar color a los modelos, considerado de gran importancia en aplicaciones cartográficas.

Por otro lado se revisan las principales aplicaciones de estos prototipos de mapas en 3D especialmente en ingeniería civil, arquitectura, y SIG.

Por último se propone una línea de trabajo, donde se pretende reutilizar modelos del terreno físicos aplicando modificaciones mediante eliminación de material, para poder añadir nuevos elementos sobre estos modelos modificados.

REFERENCIAS

- Agrawal, S. (2006). *Physical modeling of catchment area by rapid prototyping using GIS data*. Rapid prototyping Journal, 12/2 (2006) 78-85.
- Agrawal, S. (Apr 2014). *Obtaining 3D PLY Part from DEM Surface*. International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 6 No.4.
- Agrawal, S. (July 2012). *Physical modelling of terrain directly from surfer grid and arc/info ascii data formats*. South African Journal of Industrial Engineering, Vol 23 (2): pp 230-241.
- Barettino, D. (2009). *Minería, Medio Ambiente y Ordenación del Territorio*. Reunión técnica sobre Ordenación Minero - Ambiental. Logroño.
- Domínguez, M. (2013). *Impresión 3D de maquetas y prototipos en arquitectura y construcción*. Revista de la construcción.
- Esam, I. (2012). *Land Use and Land Cover Changes of West Tahta Region, Sohag Governorate, Upper Egypt*. Journal of Geogra-

- phic Information System.
- Fintan and Conor MacCormack, C.-f. (2013). *How Paper-based 3D Printing Works The Technology and Advantages*. Mcor technologies.
- Ghawana, T., & Zlatanova, S. (2013). *3D printing for urban planning: A physical enhancement of spatial perspective*. Integrated Spatial Analytics Consultants, India; Delft University of Technology, GIS Technology Section, Delft, Netherlands.
- Groenendyk, M. (2013). *Emerging Data Visualization Technologies for Map and Geography Libraries: 3-D Printing, Holographic Imaging, 3-D City Models, and 3-D Model-based Animations*. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada.
- Hicham, K., Kamal T.K. (2013). *Explotación de canteras en la costa de Kenitra y su área de influencia: estudio de impacto ambiental*. Revista de Estudios Andaluces, Nº 30 (2013) pp. 1-26.
- Lemu, H.G. (2011). *Study of Capabilities and limitations of 3D Printing Technology*. The 4th Manufacturing Engineering Society International Conference.
- MacCormack, F. a. (2013). *How Paper-based 3D Printing Works: The Technology and Advantages*.
- MCS. (2014). *MicroCadServices*.
- Polodoro, M. (2013). *Urban Sprawl and the Challenges for Urban Planning*. Journal of Environmental Protection.
- Qian, M. (2013). *Urban Spatial Expansion Characteristics in China's Rapid Urbanization Region—A Case Study of SX Region*. International Journal of Geosciences.
- Quan, B. (2013). *Spatiotemporal Urban Land Use Changes in the Changzhutan Region of Hunan Province in China*. Journal of Geographic Information System.
- RASE, W.D. (2006). *Physical Models for Cartographic Applications*. Bonn: Federal Office for Building and Regional Planning.
- Rase, W.D. (2009). *Creating Physical 3D Maps Using Rapid*. Bonn, Germany: Federal Office for Building and Regional Planning.
- SolidTerrainModeling. (2002). *Less virtual... more reality*.
- Stani, M., & Lozo, a. B. (2010). *Color and Permanence Issues in 3D Ink-jet Printing*. Faculty of Graphic Arts University of Zagreb .
- Stotz, M.H. (2013). *3D CAD, CAM and Rapid Prototyping*.
- Weaver, K. (2013). *Exploring Topographic Change Impacts with a Tangible Geospatial Modeling System*. Tateosian1North Carolina State University.
- Sitios WEB consultados**
- 2BotCorporation. (2014). *2Bot*. Obtenido de <http://www.2bot.com/>
- arantzazu. (2014). *Geoimprimiendo*. Obtenido de <http://impresiontresde.com/blog/geoimprimiendo-impresion-3d-y-ciencias-de-la-tierra/>
- Autoridades cartográficas de Japón. (2014). Obtenido de <http://cyberjapandata.gsi.go.jp/3d/index.html>
- fresadoras-cnc-mnova. (s.f.). *fresadoras-cnc-mnova*. <http://www.fresadoras-cnc-mnova.com/impresora-3d-sobre-fresadora-entry.html>, .
- gison3dmap. (2014). *gison3dmap*. Obtenido de <http://www.gison3dmap.com/>
- Hasiuk, F. (2015). *Geofablab*. Obtenido de <http://www.public.iastate.edu/~franek/gfl/gfl.html>
- Howarmodels. (2014). *Howarmodels*. Obtenido de <http://www.howarmodels.com>
- Infante Martín, R. (2012). *Procesos de conformado de materiales poliméricos por prototipado rápido*. Obtenido de <http://tfmrimuned.wordpress.com/>
- Institute of Cartography and Geoinformation, E. Z. (2014). *terrainmodels*. Obtenido de <http://www.terrainmodels.com/index.html>
- LabsKikai. (2014). *graficosdehoy*. Obtenido de <http://www.graficosdehoy.com/content/nuevo-m-todo-de-bajo-costo-para-colorear-objetos-impresos-en-3d-de-kikai-labs#VGzuC2dpKpo>
- Mcors. (2013). *Mcor's 3D printing Technology*. Obtenido de <http://mcorstechnologies.com/>
- minebridge. (2014). *minebridgesoftware*. Obtenido de <http://www.minebridgesoftware.com/pricing>
- RASE, W.D. (2006). *wdrase*. Obtenido de <http://www.wdrase.de/SolidTerrainModeling>.
- SolidTerrainModeling. (2014). *Solid Terrain Modeling*. Obtenido de <http://www.solidterrainmodeling.com>
- TrustSystem. (2012). *trust-system*. Obtenido de www.trust-system.co.jp
- Venceslá, J. (2014). *DEMto3D*. Obtenido de <http://demto3d.com/>
- Visualmill. (2015). <http://mecsoft.com/visualmill/>. Obtenido de <http://mecsoft.com/visualmill/>
- whiteclouds. (2014). *whiteclouds*. Obtenido de <https://www.whiteclouds.com/>
- zcorp. (2014). *zcorp*. Obtenido de <http://www.zcorp.com/es/Products/3D-Printers/spage.aspx>

Sobre el autor

Javier Espinosa Payer

Ingeniero Técnico en Topografía en 2006 y Graduado en Geomática y Topografía en 2014 por la Universidad de Jaén. Profesional de la ingeniería civil con experiencia en grandes proyectos de ingeniería en el ámbito nacional. Actualmente realizando proyectos con Sistemas de Información Geográfica. Máster en Ingeniería del Diseño destacando en el área de diseño y desarrollo de productos, área de innovación. Publicaciones en la revista Topcart del Ilustre Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía, «Uso de técnicas GPS en trabajos de urbanización, integración de estas técnicas en sistemas de diseño asistido». Revista técnica Topcart 167.