

LA DIGITALIZACIÓN 3D DE LOS CEMENTERIOS DE TUMBAS MEDIEVALES STEĆCI EN BOSNIA Y HERZEGOVINA. PRIMEROS RESULTADOS

THE 3D DIGITIZATION OF MEDIEVAL STEĆCI TOMB CEMETERIES IN BOSNIA AND HERZEGOVINA. FIRST RESULTS

Víctor Manuel López-Menchero Bendicho^a, Herbert D. G. Maschner^a, Selma Rizvic^b, Edin Bujak^b, Ana Marić^c,
Adisa Lepić^c y Ángel Javier Cárdenas Martín-Buitrago^a

^aGlobal Digital Heritage (GDH), Beach Blvd S 2701, Gulfport, Florida 33707, USA. gdh@globaldigitalheritage.org

^bUniversidad de Sarajevo, Obala Kulina bana 7/II, Sarajevo 71000, Bosnia y Herzegovina.

^cMuseo Nacional de Bosnia y Herzegovina, Zmaja od Bosne 3, Sarajevo 71000, Bosnia y Herzegovina.

How to cite: Víctor Manuel López-Menchero Bendicho, Herbert D. G. Maschner, Selma Rizvic, Edin Bujak, Ana Marić, Adisa Lepić y Ángel Javier Cárdenas Martín-Buitrago. 2022. La digitalización 3D de los cementerios de tumbas medievales stećci en Bosnia y Herzegovina. Primeros resultados. En libro de actas: II Simposio de Patrimonio Cultural ICOMOS España. Cartagena, 17 - 19 de noviembre de 2022. <https://doi.org/10.4995/icomos2022.2022.15370>

Resumen

Entre 2019 y 2021 el equipo de Global Digital Heritage (GDH), en colaboración con la Universidad de Sarajevo y el Museo Nacional de Bosnia y Herzegovina, ha llevado a cabo la digitalización 3D de un importante conjunto de stećci conservados tanto en el Museo Nacional de Bosnia y Herzegovina como en algunos cementerios medievales cercanos a la ciudad de Sarajevo y a la zona oriental de Bosnia. Los cementerios medievales de stećci constituyen un valioso patrimonio arqueológico de gran interés histórico, pero poco conocido a nivel internacional pese a que algunos de ellos han sido declarados Patrimonio Mundial en 2016. A pesar de tratarse de un patrimonio en peligro apenas se han acometido trabajos de documentación 3D sistemáticos. Este artículo expone la metodología empleada y los resultados obtenidos por GDH, incluyendo las dificultades que ha sido necesario resolver y los retos que todavía han de abordarse para poder acometer la paulatina digitalización 3D del mayor número posible de cementerios medievales de stećci en Bosnia y Herzegovina.

Palabras clave: fotogrametría, digitalización, arqueología medieval, patrimonio digital, arqueología virtual, Bosnia y Herzegovina, Sarajevo.

Abstract

Between 2019 and 2021, Global Digital Heritage (GDH), in collaboration with the University of Sarajevo and the National Museum of Bosnia and Herzegovina, carried out the 3D digitization of an important set of stećci preserved both in the National Museum of Bosnia and Herzegovina, as in some medieval cemeteries near the city of Sarajevo and eastern Bosnia. The medieval cemeteries of stećci constitute a valuable archaeological asset of great historical interest. Yet, stećci are not very known internationally, despite the fact that some have been declared World Heritage in 2016. Since this heritage element is fully exposed to both climate and human activity, these monuments may be considered endangered heritage, subject to continuous degradation. Thus, systematic 3D documentation work is critical to their preservation and study. This paper explores the methodology used and the results obtained by GDH, including the problems and the challenges that must be addressed in order to undertake the systematic 3D digitization of a large number of medieval stećci cemeteries in Bosnia and Herzegovina.

Keywords: photogrammetry, digitization, medieval archaeology, digital heritage, virtual archaeology, stećci, Bosnia and Herzegovina, Sarajevo.

1. Introducción

Los stećci (stećak en singular) son un conjunto de tumbas o monumentos funerarios medievales propios de una amplia región de los Balcanes, actualmente dividida por las fronteras de Bosnia y Herzegovina, Croacia, Serbia y Montenegro. Se estima que existen más de 70.000 ejemplares conservados en 3.300 yacimientos arqueológicos, a lo que habría que sumar aquellas piezas que han sido trasladadas a diversos museos para favorecer su protección y conservación. Datados entre los siglos XII y XVI, estos monumentos funerarios presentan formas y decoraciones diversas, aunque todos ellos están asociados con la cultura cristiana, ya sea con la Iglesia bosnia, católica u ortodoxa. Su valor universal excepcional fue reconocido en el año 2016 por parte de la UNESCO, con la declaración como Patrimonio Mundial de cerca de una treintena de estos cementerios localizados en Bosnia y Herzegovina, Croacia, Serbia y Montenegro, bajo el título de “Cementerios de tumbas medievales stećci”¹. Pese a todo, los stećci siguen siendo grandes desconocidos tanto por parte del público en general como por parte de la propia comunidad científica. Su gran dispersión, su elevado número, su conservación al aire libre, la fragilidad de su decoración y la crónica escasez de recursos suficientes para poder llevar a cabo su correcta investigación, conservación y puesta en valor, los convierten en un patrimonio en peligro.

Actualmente Bosnia y Herzegovina es el país que conserva dentro de sus fronteras un mayor número de este tipo de monumentos funerarios, distribuidos en más de 2.700 cementerios. La inmensa mayoría se localizan *in situ*, pero algunos ejemplares fueron desplazados en el pasado. Es el caso de la colección de stećci custodiada por el Museo Nacional de Bosnia y Herzegovina, en la ciudad de Sarajevo. El Museo fue fundado en 1888 por el Imperio austrohúngaro y en la actualidad custodia una importante colección dividida en 4 grandes departamentos: Arqueología, Etnología, Historia Natural y Biblioteca. El Departamento de Arqueología a su vez incluye 3 grandes secciones: Prehistoria, Historia Antigua e Historia Medieval (Fekeža, 2008). Se trata de una de las colecciones de arqueología más importantes de los Balcanes, que incluye también 32 espectaculares stećci traídos desde diversos rincones de Bosnia para mostrar la diversidad y belleza de estos monumentos funerarios. Todos ellos se exponen al aire libre, la mayoría en el jardín botánico existente en el interior del museo, aunque algunos ejemplares pueden contemplarse delante de la fachada principal del museo, en una zona ajardinada.

Pese a la importancia y calidad de las colecciones que custodia, el Museo Nacional de Bosnia y Herzegovina mantiene una lucha permanente por conseguir fondos que le permitan funcionar con normalidad y proteger su colección. De hecho, entre el año 2012 y 2015 el Museo permaneció cerrado después de que sus trabajadores estuvieran más de un año sin cobrar. Afortunadamente, tras una fuerte campaña de presión nacional e internacional el museo reabrió sus puertas en 2015 (Visser, 2016). Desde entonces mantiene una actividad frenética siendo uno de los grandes motores culturales de Sarajevo. Para paliar la falta de fondos, el Museo mantiene acuerdos y colaboraciones con distintas entidades locales, nacionales e internacionales. Entre esos acuerdos de colaboración se enmarcan los trabajos que la entidad sin ánimo de lucro estadounidense Global Digital Heritage (GDH) ha desarrollado entre los años 2019 y 2021 para digitalizar en 3D una parte de la colección de arqueología que alberga el Museo, incluidos los stećci. En ese mismo periodo también se han acometido trabajos en los cementerios medievales de Kopošići (Ilijaš), Bastahe Osenik (Hadžići), Presjeka (Ustikolina) y Stuparski krš (Kladanj), digitalizándose un total de 46 stećci.

2. Antecedentes en la digitalización y recreación 3D de stećci en Bosnia y Herzegovina

Hasta el año 2019 los trabajos de digitalización 3D de los stećci en Bosnia y Herzegovina habían sido muy limitados. La falta de financiación y de grupos de investigación especializados en esta materia habían impedido el desarrollo a gran escala de proyectos encaminados a documentar tridimensionalmente esta parte del rico patrimonio cultural bosnio. Uno de los primeros intentos por avanzar en esta línea fue el realizado en el año 2005 por el Departamento de Computer Science de la Universidad de Bristol en colaboración con la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Sarajevo, que llevó a cabo la digitalización del Stećak de Donja Zgošća, uno de los stećci más complejos y bellos de los que custodia actualmente el Museo Nacional de Bosnia y Herzegovina. Este stećak fue digitalizado en 3D mediante el uso de un escáner láser Minolta 910 (Rizvić *et al.*, 2007; 2008). Desafortunadamente, el proyecto de digitalización 3D

¹ <https://whc.unesco.org/en/list/1504/>

apenas tuvo continuidad ante la imposibilidad de disponer de un escáner láser de manera prolongada en el tiempo. No obstante, en el curso académico 2008/2009, bajo la dirección de la Dra. Rizvić se realizó una campaña de virtualización de todos los stećci conservados en el Museo Nacional de Bosnia y Herzegovina. Para ello, se empleó el software de fotogrametría Photomodeler combinado con el programa de modelado tridimensional 3DS Max. El resultado de este proyecto, implementado por estudiantes de la Universidad de Sarajevo, fue la creación de un museo virtual bajo el nombre de “Digital catalog of Stećaks”² (Rizvić y Sadžak, 2010; Radošević y Rizvić, 2012; López-Menchero y Rizvić, 2014; Ramić-Brkić, Cosović y Rizvić, 2019). Ya en el año 2019 encontramos el trabajo de digitalización de 7 stećci pertenecientes al cementerio de Kopošići, acometido por Amel Zilić y publicado en sketchfab³. Más recientemente se han digitalizado mediante el uso combinado de fotogrametría y escáner láser portátil un total de 8 stećci decorados pertenecientes a los cementerios de Milavići y Trebesin (en las actuales localidades de Berkovići y Bileća) (Čaval et al., 2021). Entre 2020 y 2021 la Fundación Mak Dizdar ha desarrollado el proyecto “StećAR: Enhanced Vision of Stećak” financiado por USAID y la Organización Internacional para las Migraciones (OIM), cuyo objetivo principal ha sido sensibilizar a los más jóvenes sobre la importancia de proteger y conservar los stećci. Entre otras acciones se han realizado 16 modelos fotogramétricos de stećci en los cementerios medievales de Međugorje, Šehitluci, Podgradinje, Lokve, Pržina, Na Diliću, Pod Dubom, Dugo polje, Deminov krst y Boljuni (en las actuales localidades de Neum, Ljubuški, Ljubinj, Jablanica y Stolac)⁴. Pese a estos loables esfuerzos, podríamos decir que nos encontramos ante un panorama caracterizado por iniciativas escasas, fragmentarias y sin continuidad en el tiempo, centradas en estudios de caso y proyectos puntuales con dotaciones presupuestarias débiles o inexistentes, lo que hasta el momento ha dificultado llevar a cabo proyectos ambiciosos con verdadera capacidad transformadora e impacto científico y social, cuya financiación y medios sean acordes con la importancia y trascendencia de este valioso legado.

3. Metodología y Resultados

Para tratar de paliar esta situación, Global Digital Heritage, ha realizado hasta la fecha dos campañas de digitalización en Bosnia y Herzegovina. La primera de ellas en 2019 y la segunda en 2021. La pandemia del coronavirus COVID-19 obligó a cancelar la campaña del año 2020, lo que supuso la paralización de los trabajos por un año. La metodología elegida se ha basado exclusivamente en el uso de fotogrametría, considerando que se trata de la técnica más eficaz, rápida y barata disponible, capaz de conseguir excelentes resultados tanto en la calidad de la geometría como de las texturas finales de los modelos 3D. El equipo empleado ha consistido únicamente en una cámara Canon EOS 5D Mark IV de 30.4 MP acompañada de una lente Sigma de 35mm f1.4. Para los trabajos de procesado se ha empleado el software comercial Reality Capture. Dadas las dimensiones de muchos stećci en algunos casos ha sido necesario el uso de una escalera convencional de más de 2 metros de altura al objeto de poder documentar las superficies superiores. Casi todos los stećci documentados hasta el momento presentan algún tipo de decoración, aunque se calcula que solo el 8% de los existentes en los Balcanes están decorados. La selección de piezas documentadas incluye también las cinco tipologías de stećci existentes: stećak con cubierta a dos aguas, cruz monumental, losa, arca y pilar.

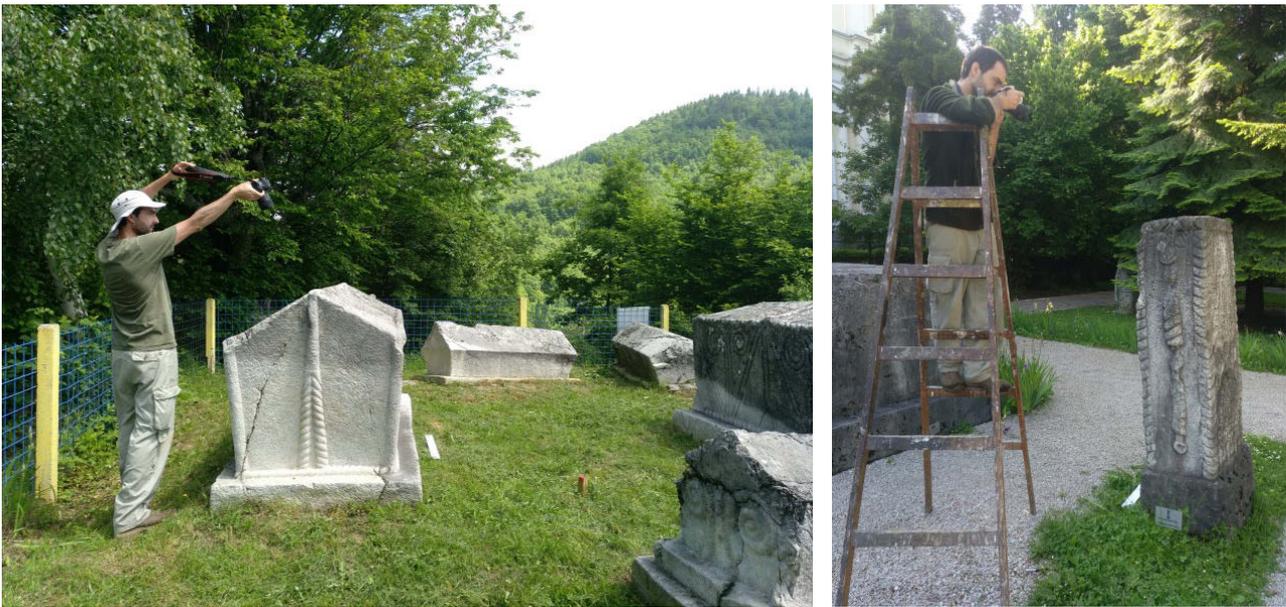
Debido a la antigüedad de estos monumentos funerarios y a su disposición al aire libre, la decoración de muchos de ellos resulta escasamente visible. Además, en los últimos cincuenta años algunos investigadores han constatado como sus relieves parecen sufrir un rápido proceso de deterioro (Đelmo, 2010). Comparten, en este sentido, problemática con muchos petroglifos e inscripciones, por lo que podría extrapolarse la metodología utilizada para documentar esa clase de patrimonio rupestre (López-Menchero et al., 2017). No obstante, difieren en forma y tamaño. Y si bien es cierto que existen cinco tipologías diferentes de stećci, en esencia todas ellas se caracterizan por la necesidad de documentar formas cúbicas en donde la base se apoya directamente sobre el suelo y en donde dependemos de la luz natural para trabajar. La decoración, por su parte, oscila entre los bajorrelieves, los grabados y el relieve hundido, presentando por lo general volúmenes muy débiles, lo que hace que la forma en la que la luz incide sobre estas superficies decoradas permita o no su correcta visualización. Como sucede con los petroglifos y con las inscripciones, la luz rasante es la más apropiada para su contemplación, algo que sucede de forma natural los días soleados en momentos puntuales o bien que

² <http://h.etf.unsa.ba/dig-katalog-stecaka/>

³ <https://sketchfab.com/Amel-Zilic>

⁴ <https://stecakmap.info/tag/3d/>

se puede replicar por la noche con luz artificial. El principal problema del trabajo en los días soleados es que se generan contrastes muy fuertes de luces y sombras, por lo que para el caso de monumentos y objetos situados al aire libre tradicionalmente se considera que la mejor luz se produce en los días nublados, cuando se proyecta una luz difusa y homogénea sobre toda la superficie del elemento que se persigue documentar. Por el contrario, los contrastes de luces y sombras, propios de los días soleados, dificultan el trabajo y suelen generar zonas subexpuestas y sobreexpuestas, algo que, por supuesto, también afecta de manera significativa a la documentación de los stećci. No obstante, este principio de trabajo presenta dos grandes inconvenientes. En primer lugar, los días nublados, pero no especialmente cerrados, son escasos y quedan fuera de nuestro control, es decir, no podemos predecir cuándo se producirán lo que impide cualquier tipo de planificación a medio y largo plazo del trabajo de campo. Por otro lado, en los días nublados la intensidad lumínica es menor que en los días soleados por lo que los parámetros con los que podemos configurar la cámara siempre son más desfavorables.



Figs. 1 y 2 Proceso de toma de fotografías en el cementerio de Kopošići (izquierda) y en el Museo Nacional de Bosnia y Herzegovina (derecha)

Para solventar estas dificultades se ha desarrollado un método de trabajo distinto al convencional. Condicionados por la presencia de cielos despejados la mayoría de los días en los que se había planificado el trabajo de campo, y conscientes del potencial de la luz rasante diurna, que permite además configurar la cámara con parámetros muy favorables para poder disparar sin trípode, se realizaron 4 sesiones de fotografías, en los cuatro momentos en los que el sol incidía de una forma más favorable sobre cada una de las caras decoradas de los stećci. Para ello, fue necesario trabajar de 9:00 a 19:00 (durante el mes de junio), es decir desde el amanecer hasta el atardecer. Previamente se hicieron observaciones sobre la forma en la que la luz directa se proyecta sobre la superficie decorada de los stećci según las horas del día, anotando las franjas horarias óptimas para realizar las capturas. No obstante, se pudo comprobar cómo estas observaciones tienen un periodo de validez relativamente corto ya que el sol varía constantemente su posición por lo que transcurridos unos días los cálculos no resultan precisos y, consecuentemente, pierden utilidad. En cada sesión de fotografías solamente se documentaron las dos caras laterales iluminadas más la cubierta superior, de esta forma, una de las caras siempre presentaba una luz rasante mientras que la otra cara quedaba iluminada de forma frontal, así como la zona de la cubierta o superior. Las dos caras restantes en sombra no se fotografiaban, a la espera de la variación de la posición del sol. Siguiendo este sistema, al final del día era posible disponer de un set de fotos en el que todas las caras verticales habían sido fotografiadas tanto con luz frontal como rasante, no registrándose ninguna zona del stećak en sombra, excepto en la parte inferior del brazo de la cruz para el caso del tipo de stećci de cruz monumental. Para procesar esta información se utilizó el programa Reality Capture que es capaz de alinear sin problemas este tipo de fotografías pese a las variaciones en la iluminación, obteniéndose unos modelos en los que la textura final permite observar todos los detalles de la decoración con gran nitidez, algo esencial tanto para investigadores como para el

público en general. Para aprovechar al máximo las características técnicas de la cámara y de la lente, las fotografías se realizaron a dos metros de distancia junto con barridos de detalle a unos 50 cm de la superficie decorada (Fig.1), usando para ello el enfoque automático, sensibilidad ISO-160, apertura del diafragma de f/9.0 y una velocidad de obturación variable pero nunca por debajo de 1/100s. En los barridos de detalle, la cámara se situaba frente a la superficie decorada buscando obtener planos frontales con el objetivo de lograr que la mayor parte de la fotografía quedara enfocada, obteniéndose de esta forma la máxima resolución y nitidez.

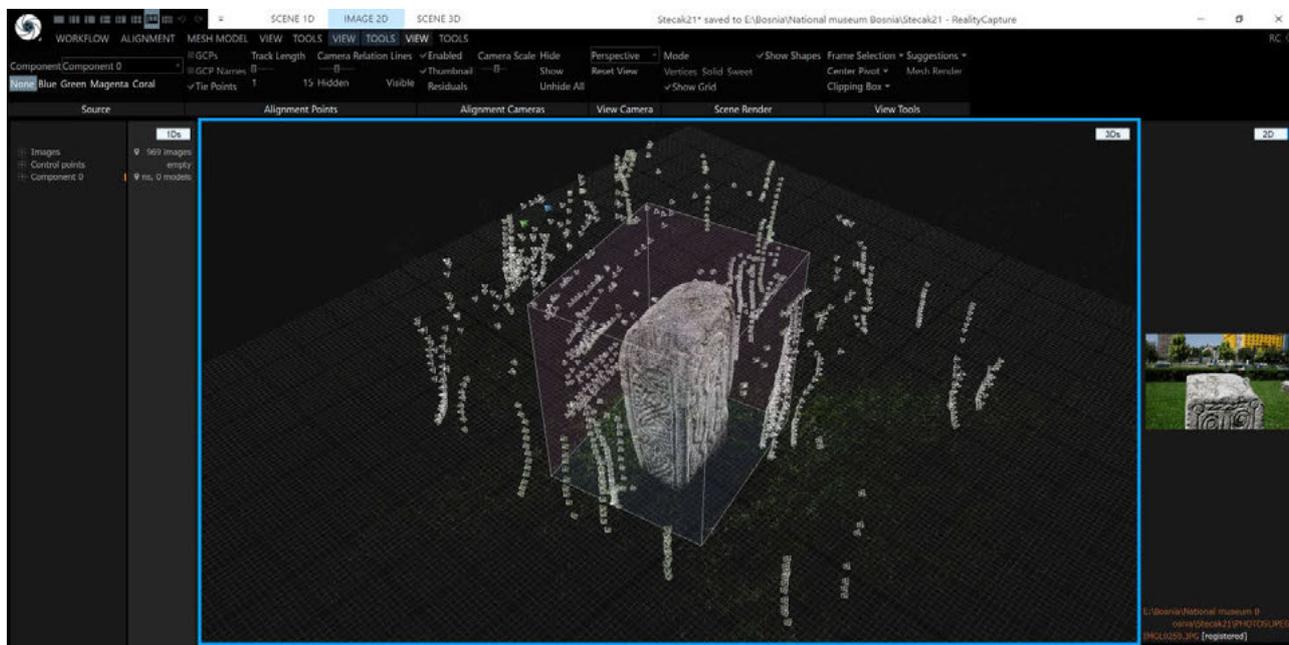


Fig. 3 Distribución de las cámaras con barridos generales y de detalle. ID NMB Stecak 21

Para documentar algunos stećci con decoración en una sola cara se ha empleado también un sistema mixto basado en la realización de la toma general de fotografía en un día nublado o cuando la totalidad del stećak queda en sombra combinado con un barrido de detalle exclusivamente de la cara decorada realizado en un día soleado en el momento en el que la luz incide de forma rasante sobre esa superficie. Pese a la evidente diferencia entre ambos sets de fotografías el programa es capaz de reconocer puntos en común y consecuentemente alinear correctamente la totalidad de las imágenes que, al mezclarse, permiten mejorar en el modelo 3D tanto la geometría como la textura de la zona decorada.



Figs. 4a y 4b Fotografías de uno de los stećci conservados en el jardín botánico del Museo Nacional de Bosnia y Herzegovina, tomadas con luz difusa en un día nublado (izquierda) y con luz rasante en un día soleado (derecha)

Todos los modelos 3D han sido escalados, optimizados y subidos a la popular plataforma de contenidos 3D Sketchfab⁵ donde cualquier persona puede visualizarlos o descargarlos de manera completamente gratuita, lo que favorece una mayor democratización cultural.

Tabla 1. Listado de stećci digitalizados entre 2019 y 2021 en Bosnia y Herzegovina por GDH

ID	Localización original	Localización actual	Tipología	Número de fotografías	Enlace al modelo 3D
NMB Stecak 1	Vlađevina	National Museum	Cubierta a dos aguas	308	https://skfb.ly/6Y89Y
NMB Stecak 2	Donji Bakići	National Museum	Cubierta a dos aguas	204	https://skfb.ly/o7TYO
NMB Stecak 3	Barevište	National Museum	Cubierta a dos aguas	736	https://skfb.ly/6Zq6Z
NMB Stecak 4	Opličići	National Museum	Cubierta a dos aguas	570	https://skfb.ly/6RqJT
NMB Stecak 5	Radmilovića Dubrave	National Museum	Arca	644	https://skfb.ly/otuCI
NMB Stecak 6	Simiova	National Museum	Cruz monumental	674	https://skfb.ly/6ZGFp
NMB Stecak 7	Čevljanovići	National Museum	Cubierta a dos aguas	653	https://skfb.ly/6Zq6U
NMB Stecak 8	Jela šuma	National Museum	Cubierta a dos aguas	402	https://skfb.ly/on9wC
NMB Stecak 9	Sopotnik	National Museum	Pilar	496	https://skfb.ly/oturD
NMB Stecak 10	Čevljanovići	National Museum	Cubierta a dos aguas	318	https://skfb.ly/otu8G
NMB Stecak 11	Brankovići	National Museum	Pilar	1051	https://skfb.ly/onIRo
NMB Stecak 12	Čerin	National Museum	Cubierta a dos aguas	952	https://skfb.ly/6RGEL
NMB Stecak 13	Humsko	National Museum	Pilar	754	https://skfb.ly/6ZGEY
NMB Stecak 14	Banja Stijena	National Museum	Cubierta a dos aguas	746	https://skfb.ly/6WuEq
NMB Stecak 15	Zgošća	National Museum	Cubierta a dos aguas	5528	https://skfb.ly/6XC7B
NMB Stecak 16	Cernica	National Museum	Cubierta a dos aguas	1584	https://skfb.ly/6WuF9
NMB Stecak 17	Krehin Gradac	National Museum	Arca	1400	https://skfb.ly/6RqKo
NMB Stecak 18	Bileća	National Museum	Arca	1157	https://skfb.ly/orK8q
NMB Stecak 19	Bratunac	National Museum	Pilar	400	https://skfb.ly/6RqK7
NMB Stecak 20	Pocrnje	National Museum	Cruz monumental	1274	https://skfb.ly/6SJGQ
NMB Stecak 21	Kravina	National Museum	Pilar	969	https://skfb.ly/o8BPF
NMB Stecak 22	Vlađevine	National Museum	Arca	1604	https://skfb.ly/o69nn
NMB Stecak 23	Vlađevina	National Museum	Arca	1338	https://skfb.ly/6Y89Q
NMB Stecak 24	Klobuk	National Museum	Arca	1281	https://skfb.ly/6WuEY
NMB Stecak 25	Stepen	National Museum	Cubierta a dos aguas	1694	https://skfb.ly/oturT
NMB Stecak 26	Vranjevo Selo	National Museum	Arca	1531	https://skfb.ly/6WuEL
KOPO Stecak 1	Kopošići	Kopošići	Cubierta a dos aguas	1168	https://skfb.ly/6Y8up
KOPO Stecak 2	Kopošići	Kopošići	Cubierta a dos aguas	392	https://skfb.ly/6Y8uF
KOPO Stecak 3	Kopošići	Kopošići	Cubierta a dos aguas	441	https://skfb.ly/otuAO
KOPO Stecak 4	Kopošići	Kopošići	Cubierta a dos aguas	602	https://skfb.ly/6WLXY
KOPO Stecak 5	Kopošići	Kopošići	Cubierta a dos aguas	1229	https://skfb.ly/6XDTJ
KOPO Stecak 6	Kopošići	Kopošići	Cubierta a dos aguas	290	https://skfb.ly/6Y8uv
KOPO Stecak 7	Kopošići	Kopošići	Cubierta a dos aguas	563	https://skfb.ly/ooCqM
KOPO Stecak 8	Kopošići	Kopošići	Cubierta a dos aguas	282	https://skfb.ly/otu8R
KOPO Stecak 9	Kopošići	Kopošići	Cubierta a dos aguas	262	https://skfb.ly/or7YC

⁵ <https://sketchfab.com/GlobalDigitalHeritage>

OSEN Stecak 1	Osenik	Osenik	Cubierta a dos aguas	605	https://skfb.ly/6Y8u6
OSEN Stecak 2	Osenik	Osenik	Cubierta a dos aguas	831	https://skfb.ly/6WuFp
STU Stecak 1	Stupari	Stuparski krš	Cubierta a dos aguas	942	https://skfb.ly/o9vYX
STU Stecak 2	Stupari	Stuparski krš	Cubierta a dos aguas	441	https://skfb.ly/o9uLt
STU Stecak 3	Stupari	Stuparski krš	Cubierta a dos aguas	669	https://skfb.ly/o9uLr
STU Stecak 4	Stupari	Stuparski krš	Cubierta a dos aguas	247	https://skfb.ly/o9uKV
STU Stecak 5	Stupari	Stuparski krš	Cubierta a dos aguas	653	https://skfb.ly/o9uLp
STU Stecak 6	Stupari	Stuparski krš	Cubierta a dos aguas	394	https://skfb.ly/o9vUV
PRES Stecak 1	Presjeka	Presjeka	Arca	764	https://skfb.ly/o9xto
PRES Stecak 2	Presjeka	Presjeka	Arca	627	https://skfb.ly/o9xvv
PRES Stecak 3	Presjeka	Presjeka	Cubierta a dos aguas	858	https://skfb.ly/o9xvC

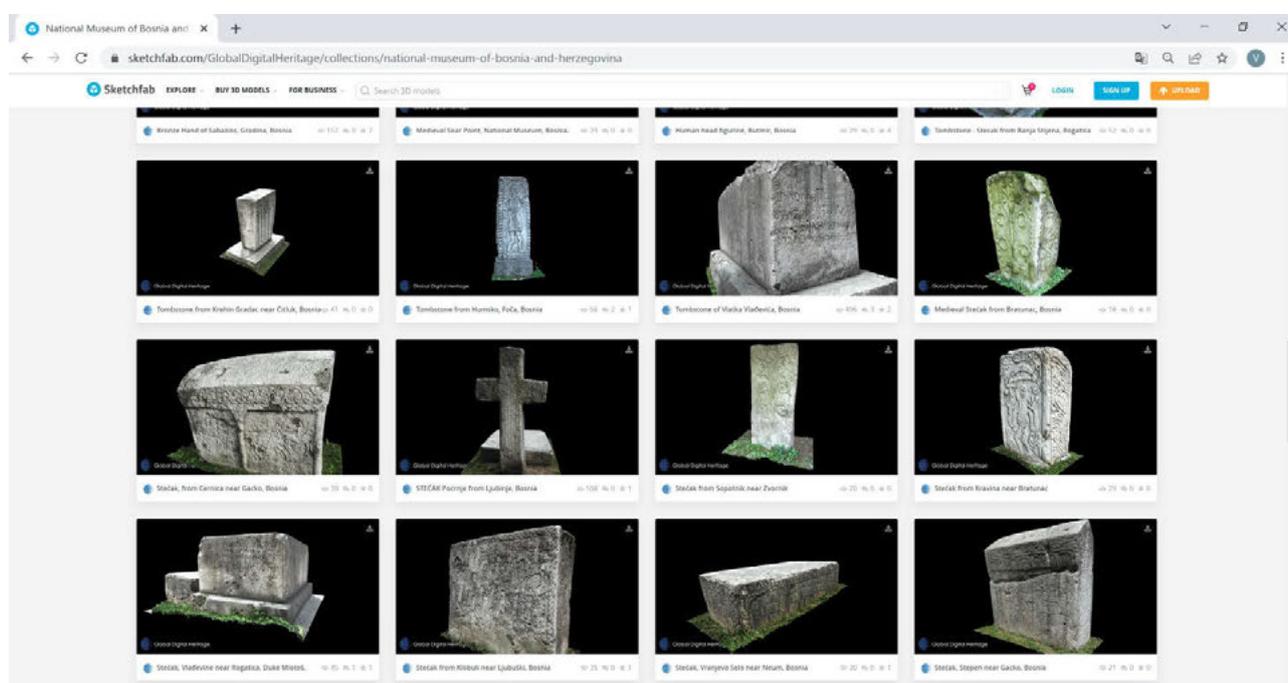


Fig. 5 Vista de la plataforma Sketchfab con algunos de los modelos 3D obtenidos

4. Discusión

Tras más de una década de avances significativos en las prestaciones de los programas de fotogrametría, consideramos que nos encontramos en un momento de desarrollo lo suficientemente maduro como para abordar el reto de la digitalización masiva del patrimonio cultural. Algunos programas como Reality Capture han conseguido alcanzar una velocidad de procesamiento significativamente superior respecto a los programas existentes en el mercado hace tan solo una década. Resulta evidente que la forma en la que trabajan sus algoritmos no responde a los mismos patrones que sus predecesores, por lo que ante los mismos sets de imágenes se obtienen resultados diferentes. La posibilidad de procesar grandes volúmenes de datos, por ejemplo, varios miles de fotografías, permiten equiparar la calidad de los resultados con la obtenida mediante el uso de escáneres láser. De esta forma, las fotografías utilizadas para la obtención de los modelos 3D constituyen una valiosa fuente de información *per se* ya que pueden ser reprocesadas en cualquier momento en caso de disponer de mejores programas o de mayor capacidad de computación. Por este motivo, su almacenamiento en formato JPEG y RAW a largo plazo puede resultar de enorme utilidad. Además, para el caso

concreto de los stećci, siguiendo la metodología empleada en este trabajo, las fotografías se tornan también valiosas como documento 2D, ya que muestran los detalles decorativos de una forma muy nítida al haber sido tomadas siguiendo la técnica de luz rasante, tal y como se habría hecho en un buen trabajo de documentación convencional.

Como hemos visto, el nivel de visibilidad de la superficie decorada de los stećci depende directamente de la forma en la que la luz incide sobre ellos. En los días nublados la visibilidad es muy baja, así como en los días soleados excepto cuando la luz del sol incide de forma directa y rasante sobre el relieve que forma la decoración, algo que por lo general sucede durante un lapso de tiempo relativamente corto, existiendo un momento o punto óptimo en el que la luz es lo suficientemente rasante como para resaltar la superficie decorada sin proyectar sombras demasiado largas. En este punto la luz no se proyecta de forma completamente horizontal, sino que todavía incide formando un pequeño ángulo respecto a la superficie. La toma de fotografías en esos momentos siguiendo un sistema metódico en el que todas las superficies del stećak queden registradas con luz rasante y frontal permite obtener buenos resultados, equiparables o incluso mejores que los obtenidos en días nublados.

Según la teoría clásica de la fotogrametría, la consistencia de la luz sobre el objeto que se pretende digitalizar juega un papel crucial, siendo necesario que se mantenga estable durante la realización de las fotografías, al objeto de facilitar la labor de los algoritmos de los programas de fotogrametría para encontrar puntos de conexión entre las fotografías y así poder alinearlas para construir el modelo 3D. Los trabajos de digitalización de stećci acometidos por GDH demuestran que este principio ha quedado obsoleto, especialmente en programas como Reality Capture, capaz de fusionar fotografías tomadas en condiciones lumínicas completamente diferentes, lo que abre la puerta a nuevas estrategias de registro. Sin embargo, para el caso que nos ocupa, este sistema presenta también limitaciones ya que muchos stećci se localizan en zonas boscosas o con abundante arbolado circundante, lo que, en los días soleados, contribuye a generar un fuerte contraste de luces y sombras sobre los monumentos funerarios al colarse rayos de luz entre las ramas que, a su vez, suelen ser suavemente balanceadas por el viento provocando cambios constantes en los juegos de luces y sombras. Se trata del peor escenario posible en el que no resulta aconsejable trabajar, aunque no resulte imposible hacerlo, pues de nuevo el programa es capaz de alinear las fotografías pese a lo adverso del escenario. Sin embargo, los días nublados, en los que la luz es difusa y homogénea también presentan serios problemas para desarrollar los trabajos de digitalización en estas zonas boscosas, ya que la masa arbórea disminuye la luminosidad bajo sus copas. En estos casos, no solo es imposible aplicar la metodología de trabajo que hemos desarrollado en las páginas anteriores, sino que cualquier solución resulta poco satisfactoria pues nos obliga a usar unos parámetros en la cámara desfavorables, salvo que introduzcamos en la ecuación el uso de un trípode, lo que por otro lado ralentiza y dificulta notablemente el proceso, disminuyendo la producción. Queda pues pendiente encontrar la mejor metodología de trabajo para estos escenarios, algo que esperamos poder hacer en los próximos años mientras incrementamos el volumen de stećci digitalizados.

Agradecimientos

Queremos mostrar nuestro más sincero agradecimiento a Mirsad Sijarić (Director del Museo Nacional de Bosnia y Herzegovina) y Vahid Alađuz (Presidente de la Comisión de Historia y Documentación del Municipio de Hadžići), y a los investigadores Bojan Mijatovic, Tatjana Mijatovic y Benedetta Pacini.

Referencias

- Čaval, S., Prunk, S., Sakara, M. y Miklavcic, T. (2021). Tridimenzionalno dokumentiranje stečkov srednjeveške župe Dabar v Bosni in Hercegovini. *Studia Universitatis Hereditati*, 9(1).
- Đelmo, M. (2010). Reliefs of the stećaks from Jablanica Basin. *BOSNIACA-časopis Nacionalne i univerzitetske biblioteke Bosne i Hercegovine*, 59-64.
- Fekeža, L. (Ed.) (2008). *The National Museum of Bosnia and Herzegovina Guide*. Sarajevo: The National Museum of Bosnia and Herzegovina.
- López-Menchero Bendicho, V.M., y Rizvić, S. (2014). The virtual museum of Stećci. *Virtual Archaeology Review*, 5(11), 109-112.

- López-Menchero Bendicho, V.M., Marchante Ortega, Á., Vincent, M., Cárdenas Martín-Buitrago, Á.J., y Onrubia Pintado, J. (2017). Combined use of digital nightlight photography and photogrammetry in the process of petroglyphs documentation: the case of Alcázar de San Juan (Ciudad Real, Spain). *Virtual Archaeology Review*, 8(17), 64–74.
- Radosevic, G., y Rizvić, S. (2012). *Laser Scanning Versus Photogrammetry Combined with Manual Post-modeling in Stećak Digitization*.
- Ramic-Brkic, B., Cosovic, M., y Rizvić, S. (2019). *Cultural Heritage Digitalization in BiH: state-of-the-art review and future trends*.
- Rizvić, S., Sadžak, A., Buza, E., y Chalmers, A. (2008). Virtual reconstruction and digitalization of cultural heritage sites in Bosnia and Herzegovina. *Преглед ИИД*, 12, 82-90.
- Rizvić, S., Sadžak, A., Buza, E., y Chalmers, A. (2007). Virtual reconstruction and digitalization of cultural heritage sites in Bosnia and Herzegovina. *Cetinje, SEEDI 2007, Review of the National Center for Digitization* (pp. 82-90). Publisher: Faculty of Mathematics, Belgrade, Serbia.
- Rizvić, S., y Sadžak, A. (2010). Digitalni katalog stećaka. *Drugi međunarodni simpozij "Digitalizacija kulturne bastine Bosne i Hercegovine"*, Sarajevo.
- Visser, J. (2016). *Reflections on the reopening of the National Museum of Bosnia and Herzegovina*.