



APLICACIÓN DE MODELOS DIGITALES TRIDIMENSIONALES (ESCÁNER 3D) PARA LA DOCUMENTACIÓN DE SITIOS CON GRABADOS RUPESTRES. ESTUDIO DE CASO EN EL DEPARTAMENTO DE SALTO (URUGUAY)

*Andrés Florines - Ricardo Yelicich**

Resumen

En la última década se ha acumulado en el mundo vasta experiencia en la aplicación arqueológica del escáner laser 3D para el levantamiento topográfico de alta resolución. Esta tecnología ha facilitado grandemente los relevamientos de datos espaciales, al tiempo que hace posible una representación de los objetos de gran fidelidad. En el arte rupestre en particular presenta un campo de aplicación de variada utilidad.

En este artículo se presenta la experiencia realizada con esta herramienta en dos sitios al aire libre con grabados rupestres del Departamento de Salto (Uruguay). El Departamento de Arqueología adquirió recientemente un equipo portable Trimble TX5, con una capacidad de hasta 976.000 puntos por segundo, hasta una distancia de 120 metros. Para sacar un mejor partido de esta tecnología se ha diseñado un programa que ha asociado arqueólogos e ingenieros de la Universidad de la República.

La alta vulnerabilidad de los grabados rupestres en el Uruguay debido a su frágil protección legal y su alto riesgo de desaparición por vandalismo, verificado en varios sitios, hace que en muchas ocasiones la documentación exhaustiva sea el único testimonio previo a su destrucción. Esta herramienta ha mejorado sustantivamente la calidad del registro de los afloramientos con grabados, así como de las excavaciones realizadas en su entorno.

Los primeros resultados obtenidos han sido promisorios en cuanto a la calidad de los modelos digitales generados por el escaneo de los afloramientos con grabados, lo cual se complementa con la geolocalización precisa de cada grabado a través de un Sistema de Navegación Satelital Global (GNSS). También se presentan los primeros avances del escaneo de grabados individuales *in situ* y su estudio a partir del post-proceso, incluyendo la posibilidad de realizar impresiones 3D como alternativa menos invasiva a la realización de calcos y moldes.

Palabras clave: Grabados rupestres, Modelo tridimensional, Escáner láser.

* Universidad de la República, Uruguay. **Contactos:** 1. aflorine@fhuce.edu.uy - 2. ryelicich@fing.edu.uy



Resumo

Na última década, a nível global, tem sido acumulada uma vasta experiência na aplicação arqueológica do escâner laser 3D para o levantamento topográfico de alta resolução. Essa tecnologia tem facilitado o relevamento de dados espaciais ao tempo de contribui a uma representação de objetos de alta fidelidade. Em particular, ao se tratar de arte rupestre, apresenta um campo de aplicação de diversa utilidade.

Nesse artigo se apresenta uma experiência utilizando essa ferramenta em dois sítios ao ar livre com gravuras rupestres no Departamento de Salto (Uruguai). O Departamento de Arqueologia da Faculdade de Humanidades adquiriu recentemente um equipamento portátil Trimble TX5, que tem uma capacidade de leitura de até 976.000 pontos por segundo, a uma distância de até 120 metros. Para tirar maior proveito dessa tecnologia, se desenhou um programa que associou o trabalho entre arqueólogos e engenheiros da Universidad de la República.

A alta vulnerabilidade das gravuras rupestres no Uruguai devido a sua frágil proteção legal e seu alto risco de desaparecimento por vandalismo, verificado em vários sítios, faz que em muitas ocasiões a documentação exaustiva seja o único testemunho prévio à sua destruição. Essa ferramenta tem melhorado substantivamente a qualidade do registro dos afloramentos com gravuras, assim como das escavações realizadas em seu entorno.

Os primeiros resultados obtidos tem sido promissores emquanto à qualidade dos modelos digitais gerados pelo escaneamento dos afloramentos com gravuras, o qual se complementa como georreferenciamento preciso de cada gravado a través de um Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS). Também se apresentam os primeiros avances do escaneamento de gravados individuais *in situ* e seu estudo a partir do post-processo, incluindo a possibilidade de realizar impressões 3D como alternativa menos invasiva à realização de decalcados e moldes.

Palavras chave: Gravuras rupestres, Modelo tridimensional, Escâner laser.

Abstract

In the last decade, vast experience on archaeological application of 3D Laser Scanner has been accumulated all around the world for the gathering of high-resolution topographic information. This technology widely facilitates the spatial data gathering, while it makes possible a high-fidelity representation of the objects. Particularly in the field of rock art, its usage brings significant advantages. In this article, an experience executed with this technology in two archaeological open-air sites located in Salto Department (Uruguay) is presented. The Department of Archaeology has recently acquired a portable equipment “Trimble TX5”, which



has the power to register 976.000 points per second on a 120 meters distance. To get a better profit of this technology, archaeologists and engineers from *Universidad de la República* have been associated in a common research program.

In Uruguay, rock art is highly vulnerable of disappearance due to the weak legal protection and the vandalism. This has been evidenced many times and an exhaustive documentation could be the unique testimony before it may be destroyed. The 3-D modeling has substantively improved the quality of the records on engraved outcrop as well as on excavations in their environment.

The initial results obtained have been promissory as to the digital models generated by scanning the engraved outcrops, which is complimented with the accurate geolocalization of each engraving using Global Navigation Satellite System. It is also presented an advance of scanning individual engravings *in situ* and its exploration in the post-process, including the possibility to make 3D impressions as a less invasive alternative of the tracing and molding.

Key words: Rock art engravings, Three-dimensional modeling, Laser scanner

Introducción

Las reflexiones que aporta este artículo surgen de la aplicación de un escáner laser terrestre 3D en dos sitios con grabados rupestres del norte del Uruguay, Cuatro Cerros y San Luis de Arapey, ambos en el departamento de Salto. El registro documental se llevó a cabo en el marco del proyecto de investigación dirigido por el Dr. Leonel Cabrera: "Contenidos simbólicos y técnicas de grabado en las manifestaciones rupestre del norte uruguayo. Un abordaje desde la Arqueología Experimental" ANII – Fondo Clemente Estable. (2015-2017). Desde el Departamento de Arqueología de la Facultad de Humanidades y Cs. Ed (FHCE) - Universidad de la República (UdelaR), se viene investigando con continuidad desde hace más de una década, logrando catalogar y fichar decenas de sitios con más de mil grabados (Cabrera 2008, 2009, 2011, 2012, 2014). El hallazgo de esta riqueza de manifestaciones rupestres en extensas áreas del territorio sin antecedentes planteó desde el inicio el desafío de aplicar una documentación eficiente pero al mismo tiempo exhaustiva, lo que ha llevado a ir incorporando nuevas tecnologías en la medida de las posibilidades (Estación Total, Sistema de Navegación Satelital Global, Escáner 3D).

La tecnología escáner láser 3D es desarrollada instrumentalmente durante el último cuarto del siglo XX, pero es más recientemente que se ha generalizado su aplicación. En



las últimas dos décadas se comienza aplicar cada vez con más frecuencia a la documentación arqueológica. La baja relativa del precio de los equipos, la gran portabilidad y simplificación en la interfase de operación y software de postproceso, y una cada vez mayor potencia de registro, han alentado su incorporación. Su empleo se ha destacado particularmente en el campo de la arqueología de la arquitectura y en el registro de los espacios cavernarios del arte rupestre del paleolítico superior y postpaleolítico europeo (ej. Fachada Mediterránea), pero en la actualidad se aplica en las más diversas expresiones del registro espacial arqueológico. Los antecedentes de la aplicación de tecnología de escáner terrestre aplicado a la documentación arqueológica en Uruguay se inician en 2011, con los restos monumentales ruinosos de la estancia jesuítica Capilla de las Huérfanas (Dpto. de Colonia) (Etchevarren y Geymonat 2011; Tornini y Gavirondo 2012). Su uso en arqueología prehistórica en Uruguay tiene su primera experiencia en el estudio de caso que aquí se presenta.

Los grabados rupestres al aire libre del norte uruguayo se dan en afloramientos puntuales de arenisca que aparecen aislados en el basalto superficial, con escaso desarrollo de suelo. Los afloramientos pueden tener relativamente alta visibilidad en el entorno (discretos cerros de piedra) o por el contrario pasar casi desapercibidos. Los agregados de grabados rupestres en los mismos exhiben densidades variables, pudiendo aparecer aislados o en pequeños conjuntos (menos de 10), pero son frecuentes los mayores, en el orden de decenas, y más de un centenar en casos notables. Esta particularidad hace que puedan circunscribirse áreas discretas dentro del alcance de barrido del scanner. Afloramientos con grabados en superficies de entre 500 y 1000 m², los de mayor frecuencia, es dónde hasta el momento se han realizado los escaneos.

Los grabados presentan diseños geométricos abstractos con pocas excepciones figurativas de notorio esquematismo y de manufactura por picado o abrasión, o la combinación de ambas técnicas. Son en su mayoría de difícil identificación y documentación cuando las condiciones de iluminación no son óptimas (luz solar directa sesgada o iluminación artificial controlada). Los primeros relevamientos con laser escáner, que son objeto de este trabajo, se realizaron en 3 afloramientos con 26 grabados en Cuatro Cerros (CI18D01,02,03), y en un afloramiento San Luis de Arapey



(AR17G08) con 42 grabados documentados al presente. Ninguno de estos sitios cuenta con protección legal específica.

La aplicación del láser escáner en la documentación de grabados rupestres se propuso como primera experiencia los siguientes objetivos:

- Documentar el estado presente de los conjuntos de grabados, localizados en afloramientos con límites espaciales discretos discernibles, como línea de base para el seguimiento de procesos de dislocación natural de bloques por acción de agentes naturales (agentes erosivos, acción del ganado) y fundamentalmente por factores antrópicos (robo de bloques portables o no con grabados, vandalismo).
- Escanear bloques con grabados seleccionados y bloques quebrados deslocalizados de un mismo grabado para reconstruirlos a partir del modelo digital, incluyendo el propio diseño del grabado.

Relevamiento Topográfico con escáner 3D

El relevamiento topográfico de los sitios de arte rupestre es fundamental para su correcta determinación geométrica ya que permite su documentación con fines de investigación, conservación y de políticas patrimoniales, en tanto estos se encuentren localizados en zonas vulnerables debido fundamentalmente al vandalismo. En el caso puntual de los petroglifos, es importante relevar las características geométricas de los soportes, pero también su localización respecto al espacio circundante. Con este relevamiento, se puede determinar el tamaño, la forma, la orientación relativa entre soportes, el volumen que ocupan, así como generar modelos digitales para su representación, tanto en 2 (2D) como en 3 dimensiones (3D).

Otro aspecto importante del relevamiento topográfico es la georreferenciación del sitio, hoy día este proceso se realiza mediante técnicas satelitales utilizando los sistemas de navegación satelital global (GNSS), que no se detallaran en este artículo.

Las técnicas de relevamiento topográfico, así como el instrumental utilizado, han variado considerablemente en las últimas décadas. La utilización de teodolito y cinta ya permitía determinar la ubicación relativa entre petroglifos y la representación de un modelo de terreno mediante curvas de nivel sobre un plano. El desarrollo de la Estación Total, de la computadora y de diversos programas informáticos de diseño asistido por



computadora (CAD), entre otros, permitió mejorar la precisión y reducir el tiempo empleado en la medición y ubicación de los sitios arqueológicos y la generación en gabinete de modelos 3D.

La aparición de la tecnología de escaneo láser a mediados de la década de 1990 (Pfeifer y Briese 2007), significó un salto en la generación de modelos 3D, no solo del terreno, sino de la pieza arqueológica objeto del relevamiento. La principal ventaja del escaneo láser en comparación con la topografía tradicional, es que permite la medición remota de millones de puntos en poco tiempo con buena precisión relativa (Soni *et al.* 2015). La tecnología de escaneo en topografía y modelado en 3D tiene varios usos y se puede encontrar en el mercado en variadas opciones. La principal clasificación los divide en dos: sistemas basados en imágenes y sistemas basados en medición de distancia (Bitelli *et al.* 2012).

Los sistemas basados en imágenes (sensores pasivos) se apoyan en pares estereoscópicos de imágenes (fotogrametría), esto es, dos imágenes del mismo objeto tomadas desde dos puntos de vista diferentes. Los sistemas basados en medición de distancia en tanto, se fundamentan en la emisión de una onda láser para medición de distancias en una dirección determinada con respecto a un origen angular (sensores activos). Esta técnica, es similar a la utilizada en la topografía tradicional con Estación Total, con la diferencia de que se realiza en forma automática y se pueden relevar muchos puntos en poco tiempo.

Los sistemas basados en distancias, se pueden clasificar a su vez en dos clases: los escáneres láser y las estaciones totales robóticas con función de escaneo. Los escáneres láser a su vez, se subdividen en dos tipos: los de medición móvil (MLS) que se montan en vehículos, y de medición fija, *Terrestrial Laser Scanner*, (TLS) que se montan sobre trípodes fijos al terreno (Lin *et al.* 2013).

El producto del escaneo es una nube de puntos tridimensional con la que luego se puede generar un modelo, medir distancias sobre el mismo, determinar volúmenes y áreas, crear ortofotografías, ortoplanos, cortes, entre otras operaciones. Generalmente estos equipos vienen con una cámara digital de alta resolución, para obtener imágenes que pueden ser utilizadas para colorear la nube de puntos.



El Departamento de Arqueología de la FHCE, cuenta desde el 2013 con una Estación Total robótica marca Trimble, modelo S3, con funciones de escaneo. En este caso, la capacidad de escaneo es limitada principalmente respecto al tiempo de toma de datos, ya que logra medir un punto por segundo. La precisión que se logra es relativamente buena, ya que la apreciación angular es de 3” y el distanciómetro láser tiene una precisión de 3 mm + 2 ppm. Sin embargo, la adquisición en 2014 de un equipo TLS, marca Trimble modelo TX5, multiplicó la potencia de escaneo hasta velocidades de 976.000 puntos por segundo a una distancia de hasta 120 metros. El sistema incluye también una cámara cromática integrada con superposición de color sin paralaje de 70 megapíxeles y automática. Como resultado final se obtienen detalladas imágenes tridimensionales en color con realismo fotográfico compuestas por millones de medidas.

Metodología

La metodología de trabajo con el TLS consiste en una serie de pasos que se deben seguir rigurosamente:

a- Análisis previo en campo. El reconocimiento de la zona de estudio permite determinar el número de escaneos necesarios en el relevamiento, así como el número de puntos de control necesarios para el ajuste. Estos puntos se materializan con esferas que el programa informático de postproceso *Scene*, reconoce como “*target*” y permiten el ajuste de los distintos escaneos. Conocer las condiciones climáticas es fundamental, ya que, por ejemplo, ráfagas de viento fuertes hace inviable la adquisición de datos por la extrema sensibilidad del equipo.

b- Adquisición de datos. Una vez determinado el número de escaneos necesarios, se procede a realizar la toma de datos. En primer lugar, se deben colocar las esferas o puntos de apoyo, con una distribución uniforme en el terreno de tal forma que para cada escaneo haya por lo menos tres puntos homólogos con respecto al siguiente escaneo. Esto es, se deben “ver” los mismos puntos desde las distintas posiciones del escáner.

A continuación, se establecen los parámetros de escaneo:

- orientación del equipo
- límites de escaneo
- separación entre puntos escaneados a una distancia promedio



- calidad del escaneo (cantidad de puntos)
- resolución de las imágenes

Los límites se expresan en ángulos verticales y horizontales donde el origen vertical es el cenit y el origen horizontal es la cara frontal del equipo. La configuración de estos parámetros determinará el tiempo de adquisición de datos. Este procedimiento se debe repetir para todas las posiciones del escáner previstas en el análisis previo. Puede ser conveniente utilizar la misma configuración en cada posición.

El escaneo requiere varias pasadas desde diferentes perspectivas para cubrir toda la superficie del afloramiento con grabados. Se distribuyen las esferas (hasta 10) en todo el entorno, de forma que cada escaneo parcial desde la periferia al centro tome al menos 3 de ellas, pero teniendo en cuenta a la vez que el primer registro será una toma 360° desde el centro del afloramiento, el cual debe registrarlas todas para facilitar la fusión de imágenes/puntos en el postproceso.

El objetivo es alcanzar la mayor parte del conjunto de grabados, o la totalidad cuando es posible. En el caso que las rocas del afloramiento sean de baja proyección vertical es posible documentar con bastante precisión sin facetas ciegas, que luego quedarían como zonas grises, sin información. Por el contrario, cuando el afloramiento se proyecta verticalmente con bloques de medio y gran volumen y apoyados entre sí, pueden quedar muchas facetas ciegas, inclusive con grabados. Sin embargo, aun en estas circunstancias desfavorables el registro es altamente satisfactorio.

c- Asegurar eficiencia del procedimiento. Es importante tener presente que en cada paso del proceso pueden surgir dificultades que deben ser tenidas en cuenta, ya sea para evitar problemas o minimizar errores producidos por estas dificultades. Se enumeran algunas de estas:

- Las condiciones de mal tiempo (viento, lluvia) se tornan incompatibles con la operación del equipo. El viento en particular es un factor limitante ya que a pesar de anclar el trípode convenientemente, puede generar vibraciones que impidan alcanzar la precisión teórica máxima del equipo.

- El tiempo de escaneo en una resolución óptima requiere una inversión de tiempo importante. Completar un afloramiento con grabados puede demandar una jornada entera de trabajo, en condiciones ambientales favorables. Siempre se debe considerar el



beneficio de reducir la resolución, lo cual reduce significativamente el tiempo de escaneo, siempre que no sea imprescindible un modelo de alto detalle.

- El equipo puede fallar si la temperatura es muy elevada, lo cual suele ser frecuente en verano y operando con el sol del mediodía. Además, empleará buena parte de la energía en su propio mecanismo de refrigeración por ventilación, reduciendo su autonomía. Hay que prever baterías adicionales o fuente de alimentación externa.

- Cuando la vegetación es alta (gramíneas o arbustos), poco controlada por el pastoreo, y coloniza los afloramientos puede dificultar el registro del modelo digital, e introducir ruido adicional cuando hay viento y es agitada por este. Cuando se escanea un bloque individual con grabado es posible y deseable eliminar la cobertura vegetal sin afectar el sustrato. Sin embargo, es poco viable realizar este procedimiento para todo un afloramiento.

d- Procesamiento de datos. Este proceso se realiza en gabinete una vez descargados los datos de la memoria de la unidad. El procesamiento implica el registro de escaneos, esto es, la unión y ajuste de todos los escaneos apoyados en los puntos de referencia utilizados y demás elementos homólogos entre escaneos que se puedan identificar en la nube. Es deseable que en este punto se adjudiquen coordenadas georreferenciadas a cada punto de referencia con la utilización de un equipo de posicionamiento satelital de alta precisión. Además, se deben eliminar de la nube de puntos los puntos irrelevantes o que están alejados de la zona de interés, para hacer más manejable el archivo.

e- Presentación de resultados y conclusiones. El producto del trabajo se exporta como entregable, en diferentes formatos posibles: nube de puntos, modelo digital 3D, ortofotografías, curvas de nivel, etc. Se obtienen además los metadatos para identificar la precisión y calidad de cada uno de estos productos.

El escaneo de cada afloramiento con grabados puede demandar por lo regular una jornada de trabajo completa, pero cuando la superficie es mayor o más compleja, tratando de minimizar zonas ciegas, puede llevar varios días. Por otra parte, escanear a la máxima resolución puede demandar más de una hora para cada toma parcial y más de dos horas para un registro 360°. Utilizar la máxima resolución no siempre está justificado ya que hacerlo con menor densidad de puntos puede dar resultados igualmente satisfactorios para los objetivos propuestos (ej. Escaneo de conjunto de los

bloques con grabados de un afloramiento). El escaneo de grabados puntuales por su parte, sí puede demandar el uso de los máximos recursos del equipo, pero a costo de una inversión de tiempo alta (hasta una jornada completa). Por esta razón no resulta práctico generalizar el escaneo de grabados individuales, excepto cuando se plantea alguna problemática concreta a resolver, como por ejemplo, el ensamble de grabados partidos con fragmentos en diferentes bloques a partir del modelo. También cuando se requiere realizar un realce de la imagen generada con la nube de puntos para interpretar mejor el diseño o evaluar posibles diacronías. En este sentido también se abre la posibilidad (aun no explorada) de realizar una impresión 3D, como alternativa a métodos invasivos, como las réplicas por molde.

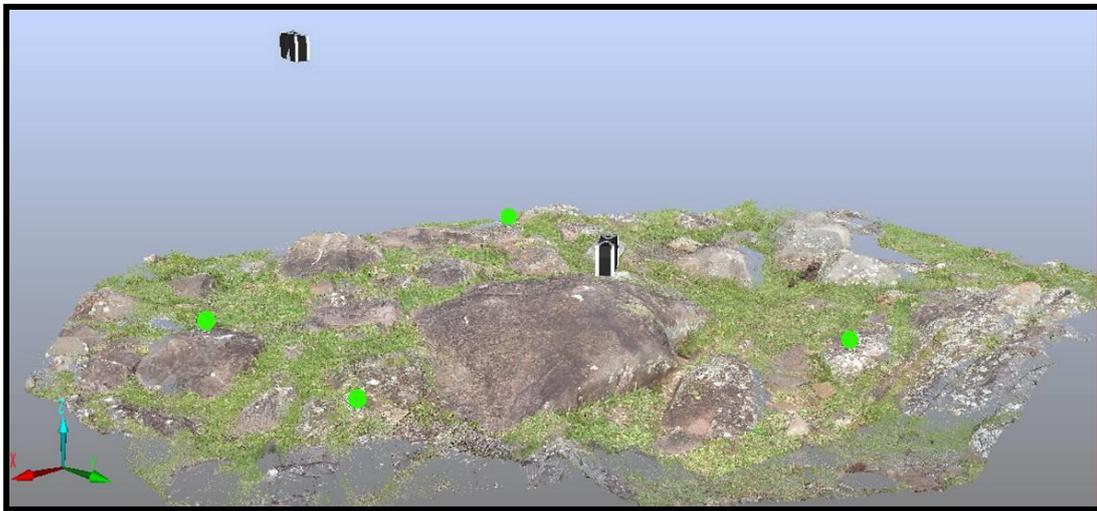


Figura 1: San Luis de Arapey (AR17G08). Escaneado tridimensional coloreado de un afloramiento con grabados, dónde se visualiza la posición central del instrumento (360) la periférica, así como la posición de las esferas de referencia (verdes).

El escaneo periódico de un mismo afloramiento posibilita comparar la posición de los bloques con y sin grabados, y observar los movimientos de los elementos, Este fenómeno ha sido constatado en varios afloramientos y es probablemente causado por la acción del ganado vacuno. Los bloques medianos o pequeños pueden ser fácilmente dislocados por la intervención de los animales. Del mismo modo permite documentar acciones vandálicas o aún la sustracción de algún grabado, lo que podría ser particularmente relevante en sitios protegidos bajo la figura jurídica del Monumento

Histórico. Este aspecto es de relevancia debido a que apenas dos de las decenas de afloramientos con grabados están protegidos con ciertas garantías legales. Una legislación de protección del patrimonio cultural desactualizada (Ley 14.040 de 1972), y una aplicación precaria de la misma por debilidades institucionales, ubican a los grabados del norte del Uruguay entre los ítems de la arqueología prehistórica con mayor riesgo de destrucción. Es por ello que surge la preocupación por refinar la documentación de estos sitios, porque siempre está presente la posibilidad que una próxima vez un sitio conocido ya no exista o esté completamente distorsionado. En el área continua vigente la extracción de piedra arenisca a pequeña escala como elemento de construcción de la arquitectura rural, y este ha sido precisamente un factor verificable de destrucción total o parcial de muchos sitios.

En síntesis, el escaneo 3D y GNSS vino a sumar precisión y detalle a la profusa documentación generada en la última década (Cabrera 2008, 2012), ya que en los conjuntos más relevantes se contaba con levantamientos de posición de los grabados con Estación Total además de un completo registro documental y fotográfico.

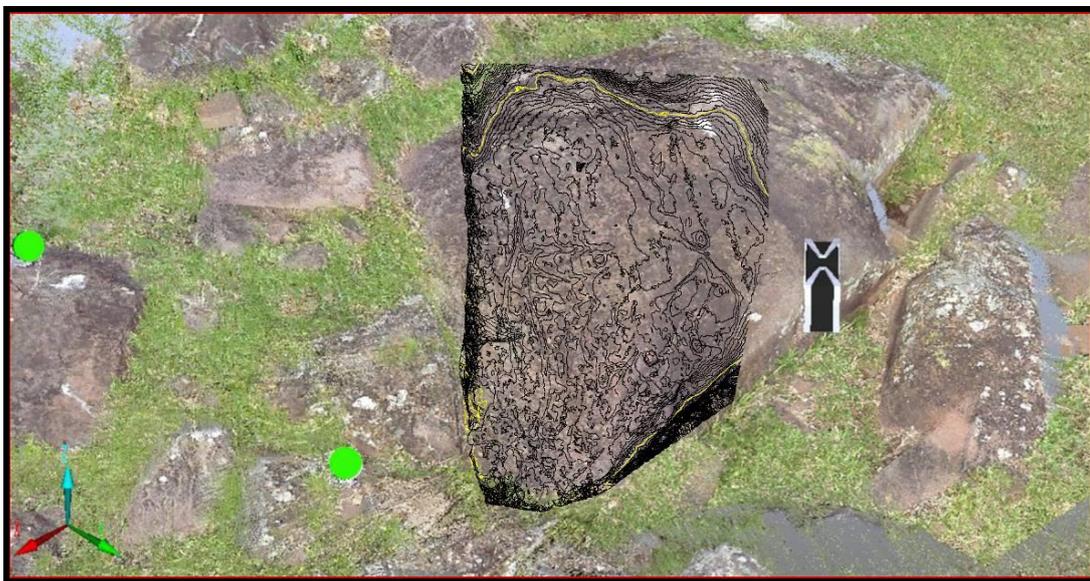


Figura 2: San Luis de Arapey (AR17G08). Detalle. Ortofotografía en vista superior, con curvas de nivel en un sector del bloque con grabados. En alta resolución el escaneo alcanza precisiones del orden de 1 mm de error en cada esfera de control (verdes).



Consideraciones finales acerca de la experiencia

En este apartado final se presentan algunas reflexiones sobre las primeras experiencias de aplicación escáner laser en la documentación de los grabados rupestres de Uruguay. Esta tecnología ha demostrado sus altas capacidades y precisión para la construcción de modelos tridimensionales de los afloramientos con grabados, fundamentalmente con fines de registro arqueológico, el estudio de los procesos de bioturbación de los yacimientos y de la identificación de acciones vandálicas (destrucción o robo de bloques con grabados). Hizo posible además integrar las excavaciones y sondeos realizados en los afloramientos escaneados dentro de los modelos tridimensionales generados, complementando positivamente el registro con Estación Total.

A pesar de su desempeño altamente satisfactorio en la generación de modelos 3D de los afloramientos con grabados, no se ha conseguido igual eficiencia en el escaneo de grabados individuales. La expectativa inicial de conseguir una microtopografía del grabado que resolviera problemas perceptuales en la identificación de los diseños no ha sido colmada del todo. Si bien pueden obtenerse escaneos de grabados *in situ* de gran precisión, la alta inversión de tiempo que demanda lo hace poco práctica. Actualmente se está en una fase experimental de generación de modelos de grabados para realizar impresiones 3D, lo que abre expectativas en la medida que podría ser una alternativa plausible a la realización de moldes.

Finalmente, y como reflexión de otro orden, debemos referir que la adquisición del equipo por parte del Departamento de Arqueología fue posible a partir del “Programa de Fortalecimiento del Equipamiento de Investigación en los Servicios”, que periódicamente financia la Universidad de la República. Este tipo de instrumental tecnológicamente avanzado es aun relativamente costoso para centros de investigación universitarios públicos latinoamericanos con limitaciones presupuestales. Esta circunstancia demanda la aplicación de un modelo de uso eficiente, de forma que el equipo pueda ser utilizado en su máximo potencial. Esta estrategia se vuelve crítica además porque se trata de una tecnología que ha demostrado en los últimos años que envejece en muy corto plazo. Su puesta en operación a máximo rendimiento debe idealmente ser alcanzada en el mínimo tiempo posible, sobre todo atento a la escasa



experiencia que existe sobre su operación en Uruguay. Considerando estos factores se ha programado la utilización asociada del equipo entre el Departamento de Arqueología (FHCE) y el Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería. Este tipo de modelo de interacción interdisciplinario para la aplicación de tecnologías complejas y sofisticadas de la geomática, ha demostrado buenos resultados en otros contextos académicos. En 2010, el equipo de Agustín Azcárate (Universidad del País Vasco) realizó un cursillo de Arqueología de la Arquitectura en Carmelo (Uruguay), presentando un modelo exitoso que conjuga arqueólogos, arquitectos e ingenieros. En nuestro contexto académico la asociación de centros con presupuestos acotados para la investigación agrega ventajas adicionales:

- Asignación de una cuota de recursos de proyectos de investigación financiados de ambos centros en el uso del equipo y contratación de becarios.
- Aprovechamiento de pasantes (estudiantes de grado), ofertando proyectos enfocados al uso del scanner 3D como parte de trabajos de pasaje de curso.
- Venta de servicios a la actividad privada/pública para generar proventos, que por ejemplo puedan financiar becarios, mantenimiento del equipo, etc.
- Consolidación del Grupo de Investigación especializado en arte rupestre (grabados, pinturas) que incluya profesionales de diferentes centros (ej. Humanidades y Cs. Ed.; Ingeniería, Bellas Artes, Facultad de Ciencias), lo cual posibilita presentar proyectos dentro de la UdelaR, con un tope de financiación mayor, que los presentados por investigadores individuales.

Referencias Bibliográficas

- BITELLI, G., A. SIMONE, F. GIRARDI y C. LANTIERI. 2012. Laser Scanning on Road Pavements- A New Approach for Characterizing Surface. *Sensors*, 12(7):9110-9128. doi:10.3390/s120709110.
- CABRERA, L. 2008. Petroglifos en el Uruguay. *Revista TEFROS*. Vol. 6 (2):1-11. Recuperado de: <http://www.hum.unrc.edu.ar/ojs/index.php/tefros/article/view/183/164>



- CABRERA, L. 2009. Investigaciones arqueológicas en sitios con ‘arte rupestre’ del departamento de Salto, Uruguay. *XI Congreso Nacional de Arqueología Uruguaya. Salto. Uruguay, 2005*. (Publicación Digital)
- CABRERA, L. 2011. Informe Proyecto ANII-FCE-263. Petroglifos del Dpto. de Salto: investigación y diseño de un parque arqueológico. *Anuario de Arqueología*. 2011. pp. 12-146. Montevideo: Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Montevideo. Recuperado de: <http://anuarioarqueologia.fhuce.edu.uy/>
- CABRERA, L. 2012. Arte Rupestre temprano en el Norte del Uruguay. *L’art pléistocène dans le monde. Actes du Congrès Ifrao. Tarascon-sur-Ariège Foix. France.*, pp. 132-133 y AMS03, Article intégral sur CD : 735-750.
- CABRERA, L. 2014. Arte Rupestre de la Región Norte del Uruguay. *Arqueologia Ibero-Americana e Transatlântica. Arqueologia, Sociedade e Território*. Criciúma: Habilis Press Editora: 165-181.
- ETCHEVARREN, V. y J. GEYMONAT. 2011. *Plan director de gestión de Calera de las Huérfanas. Una propuesta integral para el patrimonio al 2020. Proyecto: Actuación integral en Calera de las Huérfanas en clave de desarrollo Local*. Programa ART-P.N.U.D. Recuperado de: <http://www.caleradelashuerfanas.org/wp-content/uploads/2011/11/PLAN-DIRECTOR-CALERA-DE-LAS-HUERFANAS.pdf>
- LIN, Y., J. HYYPPÄ y A. KUKKO. 2013. Stop-and-Go Mode: Sensor Manipulation as Essential as Sensor Development in Terrestrial Laser Scanning. *Sensors*, 13(7):8140-8154. doi:10.3390/s130708140
- PFEIFER, N. y C. BRIESE. 2007. Laser Scanning – Principles And Applications. *GeoSiberia 2007 – International Exhibition and Scientific Congress*, April 2007. Recuperado de: https://publik.tuwien.ac.at/files/pub-geo_1951.pdf
- SONI, A., S. ROBSON, y B. GLEESON. 2015. Structural monitoring for the rail industry using conventional survey, laser scanning and photogrammetry. *Appl Geomat*, (2015). 7:123. doi: 10.1007/s12518-015-0156-1
- TORNINI, O. y M. GAVIRONDO. 2012. Aplicación de tecnologías de escaneo topográfico laser 3d en arquitectura patrimonial. El caso de las ruinas Jesuíticas “Calera de las Huérfanas” - Uruguay. *XI Congreso Nacional y VIII Latinoamericano de Agrimensura*. Montevideo. pp. 1-24. Recuperado de:



<http://www.caleradelashuerfanas.org/wp-content/uploads/2012/09/Relevamiento-3D-capilla.-Gavirondo.pdf>

Fecha de recepción: 24/05/2017

Fecha de aceptación: 27/10/2017