FOTOGRAMETRÍA Y VIDEOGRAMETRÍA AÉREA Y TERRESTRE: UN FLUJO DE TRABAJO AL SERVICIO DE PREGUNTAS ARQUEOLÓGICAS Y ACTIVIDADES DE EXTENSIÓN EN EL VALLE CALCHAQUÍ NORTE (SALTA, ARGENTINA)

AERIAL AND TERRESTRIAL PHOTOGRAMMETRY AND VIDOGRAMMETRY: A WORKFLOW SERVING ARCHAEOLOGICAL INQUIRIES AND OUTREACH ACTIVITIES IN THE NORTH CALCHAQUÍ VALLEY (SALTA, ARGENTINA)

Alejandro A. Ferrari[1], Joaquín I. Izaguirre[2]

[1] CONICET, Instituto Multidisciplinario de Historia y Ciencias Humanas, Saavedra 15, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Email: alejandroferra@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-8167-3869

[2] CONICET, Instituto Multidisciplinario de Historia y Ciencias Humanas, Saavedra 15, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Email: joaquin.izaguirre@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-8510-2609

Palabras clave

VANTs
Realidad Virtual
Investigación
Extensión

Resumen

En las últimas dos décadas hemos visto desarrollos sin precedentes en la generación, almacenamiento, manejo y difusión de datos, así como de las interpretaciones y representaciones del pasado a través de medios digitales. El desarrollo y la disponibilidad creciente al público regular de vehículos aéreos no tripulados (VANTs), cámaras digitales y dispositivos móviles cada vez más capaces, han transformado radicalmente el trabajo de campo, de gabinete y de extensión. En este artículo presentaremos cómo la fotogrametría y la videogrametría aérea y terrestre se han convertido en una parte fundamental de los proyectos de investigación de los autores, para luego ejemplificar cómo los modelos resultantes articulan estos proyectos en una síntesis que integra preguntas de investigación estrictamente académicas y la creación de contenidos interactivos que asisten a la activación patrimonial y a los procesos de desarrollo con identidad de las comunidades locales en el valle Calchaquí norte (Salta, Argentina). Expondremos los flujos de trabajo, las estrategias y escalas de relevamiento, las herramientas utilizadas, y la resolución de los resultados, con un claro énfasis en una aproximación eficiente que hace posible equilibrar preguntas de investigación y actividades de extensión.

Keywords

UAVs
Virtual Reality
Research
Outreach
activities

Abstract

In the past two decades, we have seen unprecedented advancements in the generation, storage, management, and dissemination of data, alongside novel interpretations and representations of the past through digital media. The widespread public accessibility to uncrewed aerial vehicles (UAVs), digital cameras, and increasingly capable mobile devices has revolutionized fieldwork, laboratory analysis, and public outreach. This article presents how aerial and terrestrial photogrammetry and videogrammetry have become a fundamental component of our research projects. We exemplify how the resulting models

Presentado 28/11/2024; Recibido con correcciones 10/04/2025; Aceptado: 18/04/2025

COMECHINGONIA. Revista de Arqueología. Vol. 29, n° 3. Ferrari, Izaguirre, pp. 281-305
https://doi.org/10.37603/2250.7728.v29.n3.47205
ISSN 0326-791/E-ISSN 2250-7728

synthesize these projects, addressing purely academic research questions while producing interactive content that facilitates heritage activation and supports identity development processes within local communities. We will outline workflows, survey strategies and scales, tools employed, and outcomes' resolution, emphasizing an efficient approach that balances research inquiries and outreach activities.

Introducción

El desarrollo, creciente disponibilidad y abaratamiento de las tecnologías emergentes, comúnmente denominadas "nuevas tecnologías", ha empujado a la arqueología hacia aproximaciones más eficientes. Es decir, a aplicar estrategias y herramientas capaces de generar más datos y de mejor resolución en menos tiempo. Sin embargo, esta eficiencia no necesariamente implica menor tiempo en el campo o menos trabajo de gabinete. Por el contrario, tendemos a reajustar nuestras expectativas para incrementar la cantidad de datos generados y su resolución, reemplazando un ahorro potencial de tiempo y recursos con una mayor riqueza y calidad de información. En resumidas cuentas, hoy podemos generar y procesar más datos, más rápido y a un costo relativamente a menor, pudiendo así explotar al máximo las instancias de trabajo campo y de laboratorio. El aumento en las prestaciones, capacidades y velocidades de transferencia de los dispositivos de captura, almacenamiento y procesamiento no hace más que fomentar esta tendencia. A la hora de la fotogrametría en particular, los desarrollos en los sensores de imagen y en la capacidad computacional del hardware y software accesibles al público en general, junto con el desarrollo y pulimento de los algoritmos de emparejamiento de imágenes, permiten hoy un alto nivel de automatización del flujo de trabajo (Brady *et al.* 2017; Murtiyoso *et al.* 2022; Orengo *et al.* 2020; Qubaa *et al.* 2022; Remondino *et al.* 2012, 2013; Smith *et al.* 2016).

Al desarrollo de tecnologías emergentes debe sumarse un incremento igual de notable en el desarrollo y la accesibilidad a software especializados y cierto grado de descentralización en las herramientas de programación que fomentó el contacto de las personas con los lenguajes de programación e incentivó el desarrollo de software libre (p. ej., Meshroom, Meshlab, Cloud Compare o MicMac). Esto, junto con la masificación de tutoriales y las plataformas de transferencia, ha impulsado la proliferación de aplicaciones gratuitas sustentadas por publicidad, la oferta de licencias educativas gratuitas, y entornos de desarrollo destinados a la producción no comercial o cuyo lucro está atado a la cantidad de ventas del producto final (p. ej., Reality Capture y Unreal Engine).

En paralelo, el crecimiento de la industria cultural de los videojuegos y de los creadores de contenido en general, ha facilitado el acceso a hardware y la posibilidad de personalizar los equipos de escritorio, permitiendo incluso que usuarios aficionados ensamblen equipos de trabajo apropiados sin los costos adicionales de consultorías técnicas y sin la necesidad de depender de departamentos especializados disponibles solo en ciertas universidades e institutos de investigación. En esta línea, creció bruscamente el reservorio de tutoriales, asistentes de inteligencia artificial, foros y canales dedicados enteramente al armado y customizado de computadoras, a comparativas detalladas del rendimiento de sus componentes, y a solucionar los problemas habituales del ensamblado aficionado.

No es una exageración decir que todos estos desarrollos han transformado drásticamente la práctica arqueológica. Si bien la excavación sistemática es una práctica aún inevitable, necesaria y deseable, hoy por hoy, en muchos casos tenemos la posibilidad de generar una gran

cantidad de información remota sin recurrir necesariamente a la intervención intensiva e invasiva de los sitios y piezas arqueológicas.

En este articulo presentaremos un enfoque que ejemplifica los puntos principales desarrollados en esta introducción; una aproximación de relativo bajo costo capaz de generar grandes cantidades de datos con equipamiento accesible y programas informáticos económicos (o gratuitos con licencias académica) enfocados en generar datos de alta resolución para satisfacer demandas académicas y patrimoniales. Presentaremos un flujo de trabajo que combina tres tecnologías emergentes: vehículos aéreos no tripulados (VANT de aquí en más) para videogrametría y fotogrametría aérea, los dispositivos LIDAR portátiles y los entornos inmersivos de realidad virtual.

Fotogrametría y videogrametría: ventajas, desventajas y algunas definiciones generales

Dada la extensiva cantidad de desarrollos y discusiones dentro de las técnicas y herramientas de prospección remota, ensayar una definición que logre integrar representativamente a la variedad de estrategias de relevamiento fotogramétrico y sus aplicaciones en función de su codesarrollo con las tecnologías que la hacen posible, es una tarea de síntesis deseable, pero difícil. La ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing) define a la fotogrametría como "…el arte, la ciencia, y la tecnología para obtener información confiable sobre objetos físicos y sobre el entorno o medio ambiente mediante procesos de registro, medición, e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía radiante electromagnética y otros fenómenos." (ASPRS 2004: 2, traducción de los autores). Digamos entonces que una aproximación fotogramétrica que busca el modelado tridimensional mediante imágenes es una aproximación geomática de prospección remota que se vale de un conjunto de herramientas y técnicas de mapeo para convertir conjuntos de imágenes bidimensionales en coordenadas tridimensionales usando principios de la estereovisión y algoritmos de correlación de imágenes capaces de generar modelos tridimensionales precisos, fácilmente manipulables, y de rápido acceso y difusión. Si la fotografía ofrece una representación bidimensional de la información tridimensional, la fotogrametría revierte el proceso intersecando líneas de visión por triangulación aérea.

En su calidad de estrategia de prospección remota, su cualidad principal e indiscutible es que permite medir aquello que no se puede tocar o trasladar ya que se quiere evitar cualquier tipo de intervención directa o exposición a un entorno no controlado. Además, siempre que exista acceso a la información cruda que dio origen al modelo fotogramétrico, se pueden hacer ajustes sin necesidad de una nueva instancia de captura. Es también una aproximación de alta portabilidad y de relativo bajo costo en la que se pueden generar datos de base respetando un conjunto de pautas sencillas con la posibilidad de controlar algunos resultados sobre la marcha más no sea con procesamientos de baja calidad. El costo, la portabilidad, y el sentido de oportunidad es aún más evidente dada la evolución en los sensores y lentes incorporados a los teléfonos celulares, más que capaces de capturar imágenes georreferenciadas y videos utilizables en reconstrucciones fotogramétricas (Asadpour 2021; Forlani *et al.* 2013; Gruen y Akca 2007; Iyer *et al.* 2020).

La evolución conjunta de los sensores de captura, las capacidades de almacenamiento y la velocidad de escritura han abierto la puerta a una versión potencialmente superadora (aunque no sin concesiones por ahora) de la fotogrametría: la videogrametría. Consiste en capturar videos y aislar los fotogramas para ser utilizados en un software de procesamiento fotogramétrico, que en muchos casos (p. ej., Metashape o Reality Capture, MS y RC de aquí en adelante) permiten seleccionar el intervalo de selección de

fotogramas sin necesidad de apelar a editores de video. La videogrametría, ya sea aérea o terrestre, es ágil y viene a solucionar algunos problemas inherentes a la captura imagen por imagen. En resumidas cuentas, el aumento sustancial en la cantidad de fotogramas por segundo habilita relevamientos exhaustivos de objetos y terrenos complejos en menos tiempo y con mayor solapamiento, disminuyendo así el riesgo de coberturas deficientes. Como es de esperar, la videogrametría tiene una serie de contrapartidas evidentes. En primer lugar, que la captura en fotogramas no tiene la resolución y el rango dinámico de una fotografía tomada con el mismo sensor. En segundo lugar, que la videogrametría es más sensible a condiciones de iluminación pobre, puesto que la toma de fotografías puede sortear la baja luminosidad con mayor tiempo de obturación y sin necesidad de sacrificar definición o profundidad de campo. En tercer lugar, y más importante aún en el caso de un relevamiento aéreo, la correlación entre cada fotograma y la coordenada específica es especialmente compleja. Finalmente, un video de alta resolución abarca más espacio de almacenamiento y debe seleccionarse el intervalo de fotogramas cuidadosamente para garantizar el solapamiento.

Habida cuenta de estos desarrollos, los últimos años en particular han visto un despliegue extraordinario de estrategias de relevamiento fotogramétrico y videogramétrico para los más variados casos. Entre ellos, la industria aeroespacial, naval y automovilística, la ingeniería, geografía, antropometría, medicina forense, fisiología, ciencias naturales en general, monitoreo estructural y vial, *etc.* (Abidin y Ariff 2023; Chong *et al.* 2009; Okimoto y Klein 2012). Para la arqueología en particular, quizás la ventaja más notable a la hora de considerar la eficiencia y la versatilidad de la fotogrametría, además de la posibilidad de digitalizar colecciones con relevamientos de piezas con relativa exactitud minimizando el contacto (Casañas Rigoli 2022), deba buscarse en la utilización de VANT para el relevamiento de sitios arqueológicos y patrimonio histórico (Lanzelotti *et al.* 2019; Mallea 2019; Raffaele *et al.* 2019), o bajo circunstancias especialmente complicadas (p. ej., entornos subacuáticos, ver en Drap 2012), así como en la creación de repositorios digitales para ampliar la información de los atlas bidimensionales (Lorenzo *et al.* 2019) y la difusión de contenido remoto e interactivo mediante modelos tridimensionales y realidad virtual (Izeta *et al.* 2021; Roteta-Lannes *et al.* 2024; Rowland y Hyttinen 2017).

Fotogrametría y videogrametría aérea y terrestre en la arqueología y la gestión patrimonial

Las mejoras sustanciales en los VANT pueden reducirse, en líneas generales, a un incremento en su autonomía, eficiencia, portabilidad, seguridad y tecnología de captura de imágenes y video (Orengo y Garcia-Molsosa 2019), lo que se traduce en la ampliación de su cobertura y la resolución de los datos generados junto con una notable reducción en los costos derivados de su adquisición, uso y mantenimiento. El incremento en la capacidad de cobertura de los VANT es también el resultado de un aumento en las distancias seguras en las que se puede volar, a su vez el resultado de la combinación de antenas y servicios de posicionamiento mejorados, frecuencias más amplias, un incremento en la capacidad de las baterías, diseños más eficientes (mejores propulsores, materiales durables de bajo peso, sensores de vuelo con mayor eficiencia energética, tecnologías de geoposicionamiento incorporadas), mejoras en las unidades centrales de procesamiento, y el desarrollo de software dedicados que permiten controlar exhaustivamente las superficies a relevar de manera eficiente y reduciendo los riesgos inherentes al vuelo. Estas mejoras no solo permiten sortear el amplio repertorio de circunstancias de vuelo que afrontamos durante el trabajo de campo, sino que, cuando

acompañadas de mejoras en la captura de imágenes y video, hacen posible la obtención de imágenes de alta resolución a cada vez mayores alturas respecto de la superficie. También se benefician las aproximaciones con vuelos a baja altura, puesto que el progreso en las unidades de medición inercial y los sensores de obstáculos hacen posible volar muy bajo con poco riesgo y fotografiar sitios y excavaciones de manera muy detallada (Orengo y Garcia-Molsosa 2019; Orengo e*t al.* 2021) al igual que explotar al máximo las ventajas de la fotogrametría oblicua (Youmei *et al.* 2018).

En relación con el uso de VANT en arqueología se ha innovado y escrito mucho en los últimos 20 años (p. ej., Álvarez Larrain *et al.* 2021; Chiabrando *et al.* 2018; Lanzelotti *et al.* 2024; Nex y Remondino, 2014; Oczipka *et al.* 2009; Qubaa *et al.* 2022; Stek 2016). Hoy en día, los VANT están cada vez más cerca de reemplazar exitosamente el trabajo realizado con estaciones totales (baja portabilidad y autonomía con alto costo y tiempo de postprocesado) y los escáneres láser tradicionales (extremadamente caros). Aunque, en este último caso, depende mucho de la estrategia de relevamiento y del terreno relevado y cuán necesario sea obtener resultados rápidos (Guisado-Pintado *et al.* 2019). Trabajos recientes muestran que los VANT pueden complementar e incluso reemplazar exitosamente las prospecciones pedestres, dependiendo claro está de la obtrusividad, la altura del vuelo y la resolución de la cámara (Balsi *et al.* 2021; Orengo y Garcia-Molsosa 2019; Orengo *et al.* 2021). Debe destacarse que se han reportado excelentes resultados utilizando VANT pequeños y recreacionales con cámaras básicas bajo condiciones favorables (Kokamägi *et al.* 2020; Rhodes 2017), lo que es vital cuando la portabilidad es prioritaria y el presupuesto es bajo. La fotogrametría aérea permite además el acceso a áreas especialmente complicadas o inseguras y con la menor perturbación posible de la fauna y la flora silvestre. Sin embargo, no todas son ventajas. La fotogrametría aérea es especialmente dependiente de la estacionalidad y vulnerable ante condiciones climáticas adversas que atentan contra las condiciones de vuelo (p. ej., viento o lluvia) o las imágenes (p. ej., vegetación profusa y cobertura nevosa) (Figueroa *et al.* 2019). Adicionalmente, los algoritmos *SfM* aún presentan ciertas limitaciones ligadas a la morfología de las superficies, su composición, su iluminación y contraste, las ópticas, y la correlación de altitudes (Gini *et al.* 2013; Guisado-Pintado *et al.* 2019 para una revisión bibliográfica).

La inmensa variedad de utilidades de la fotogrametría terrestre para la arqueología es ampliamente conocida y demostrada. Durante el trabajo de campo, es especialmente útil para digitalizar excavaciones, técnicas constructivas, arte rupestre, y materiales arqueológicos en general, hasta la documentación de patrimonio histórico (Ávido y Vitores 2016; Mallea 2019; Moyano 2017; Villar *et al.* 2023). También es útil para documentar patrimonio pictórico (Cabezos-Bernal *et al.* 2021), realizar reconstrucciones físicas o virtuales de piezas arqueológicas (Barreau *et al.* 2014), y relevar objetos demasiado pequeños (Gajski *et al.* 2016; Samaan *et al.* 2013; Yanagi y Chikatsu 2010), ya que muchos escáneres no logran la resolución deseada para registrar ciertas microtopografías y texturas. Esto es todavía más notorio cuando se trata de artefactos de materiales con acabados muy reflectantes, traslúcidos, y con superficies homogéneas y monocromáticas, lo que también es problemático para la fotogrametría en general (Nicolae *et al.* 2014). Trabajos recientes muestran incluso que, si bien bajo ciertas circunstancias la exactitud de un relevamiento fotogramétrico y un escáner láser son comparables (Martorelli *et al.* 2014), los modelos fotogramétricos resultantes del mismo objeto variarán más entre sí que si se hicieran con láser.

Desplazándonos ligeramente de la investigación arqueológica quizás el mayor impacto de la fotogrametría pueda rastrearse

en la gestión patrimonial, bajo la forma de la creación de repositorios digitales de modelos tridimensionales de diferentes tipos de materiales y su documentación, análisis, y monitoreo (remoto o no) bajo diferentes condiciones de preservación y exhibición (Giné 2018; Hanke y Ebrahim 2016; Lucet y Casas 2011; Stylianidis y Remondino 2016). A la hora de considerar los modos de presentar y difundir la información, no puede dejarse de lado el avance en los servicios de alojamiento remoto, tal como el gran número de plataformas que permiten cargar y compartir modelos tridimensionales gratuitamente (p. ej., Sketchfab, TurboSquid y Free3D). Plataformas de este estilo son utilizadas tanto por usuarios particulares como por instituciones educativas y museos. En la misma línea, algunas revistas académicas han actualizado sus plataformas para que los usuarios puedan cargar videos y modelos 3D, nutriendo la gran base de repositorios digitales existentes (Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage es una de ellas). Ya en el terreno de la creación y difusión de contenido no académico, quizás el mayor impacto de la fotogrametría pueda rastrearse en su aporte a las tecnologías de realidad virtual inmersiva (Iturbe *et al.* 2018; Martorelli *et al.* 2014; Rowland y Hyttinen 2017), ya que no solo las nutren de representaciones de objetos y sitios arqueológicos, sino que además permiten la construcción de modelos fotogramétricos a partir de capturas de imagen dentro de un entorno de realidad virtual o juego de computadora (Esmaeli y Thwaites 2016).

Combinadas las perspectivas desarrolladas anteriormente, y a la hora de considerar el modo en que la fotogrametría nutre y articula nuestros proyectos de investigación y difusión, nuestros esfuerzos en los últimos años se han dirigido a crear un repositorio digital de sitios y piezas arqueológicas. Este repositorio consiste fundamentalmente de modelos digitales (MDE, MDS, MDT) y tridimensionales de alta resolución de sitios del valle Calchaquí norte y piezas alojadas en el Museo Arqueológico de Cachi Pío Pablo Díaz (Salta, Argentina), no solo para responder preguntas relativas a las espacialidades y materialidades pasadas, sino para atender a las demandas patrimoniales de las comunidades locales. A continuación, detallaremos el flujo de trabajo que hemos puesto en marcha y los resultados obtenidos a la fecha.

Proyectos y resultados

En el marco del desarrollo de los proyectos de investigación de los autores de este articulo y bajo la solicitud y autorización expresa de una coalición de comunidades locales del VCN, pusimos en marcha un plan de trabajo integral destinado tanto a profundizar el conocimiento que tenemos respecto de la espacialidad y materialidad prehispánica, como a impulsar una reactivación patrimonial mediante la creación de contenidos interactivos para todas las edades.

Uno de nuestros objetivos principales de investigación es el de entender las complejas interacciones coloniales entre los representantes incaicos y los habitantes nativos del valle Calchaquí norte, con un claro énfasis en los mecanismos que los representantes incas pusieron en marcha para legitimar las ocupaciones y las prácticas extractivas. En este esquema, nos propusimos llevar adelante un estudio sistemático de la espacialidad y materialidad de los sitios en general y de la permeabilidad física, visual y acústica de los espacios públicos en particular (Ferrari *et al.* 2017; Izaguirre y Ferrari 2018; Ferrari *et al.* 2021; Izaguirre *et al.* 2024). Para ello, pusimos en marcha un esquema de trabajo capaz de generar modelos digitales de alta resolución que nos permitan crear modelos tridimensionales detallados y depurados para integrar a SIG y a programas de modelado multifísico (Figura 1).

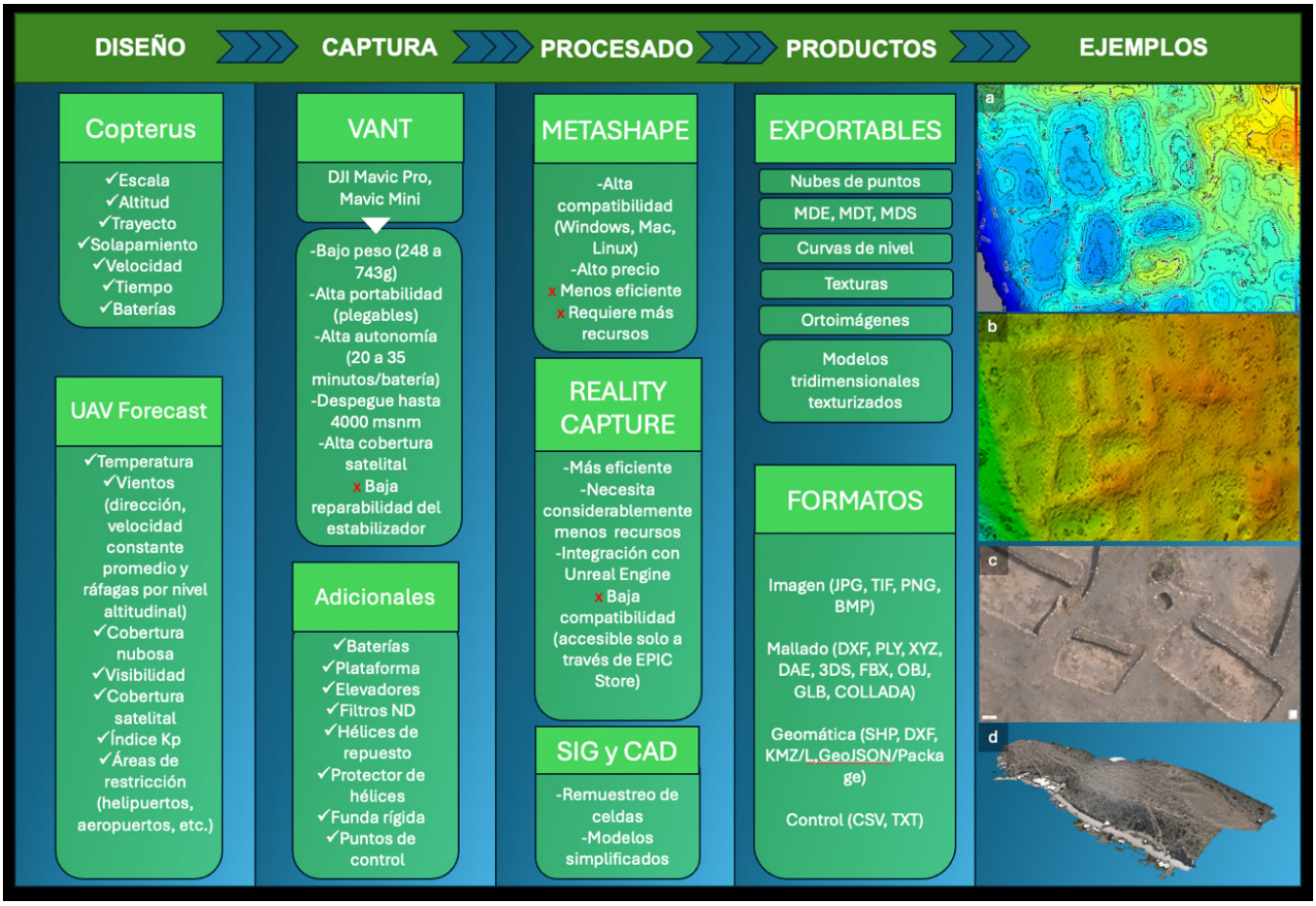


Figura 1. Etapas del flujo de trabajo y ejemplos de subproductos, tales como MDS con curvas de nivel (a), MDE (b), ortoimagen (c) y modelos tridimensionales texturizados (d).

A continuación, presentaremos las instancias del flujo de trabajo ejemplificando y discutiendo los parámetros y estrategias de relevamiento con una perspectiva costo beneficio que motivó la elección del instrumental y los programas de procesamiento.

Diseño de vuelos fotogramétricos, captura, y procesamiento

Una aproximación eficiente que arroje un producto de alta resolución en el menor tiempo posible y con un costo relativamente bajo es, en parte, una pregunta por el equilibrio entre la resolución necesaria para satisfacer las preguntas de investigación y el equipamiento indispensable para llevarlo adelante. Para llevar adelante los relevamientos utilizamos un VANT de costo medio a bajo (DJI Mavic Pro) y una serie de complementos (Figura 2a). Entre ellos, una plataforma bicolor que asegure un alto contraste con el sedimento en superficie y, con ello, un correcto aterrizaje asistido por imagen (además del GPS interno) del VANT. Para drones compactos con despegue a ras del suelo, es importante contar con elevadores para reducir la probabilidad de que alguna partícula de sedimento entre en los motores y el estabilizador de cámara. No obstante, estos elevadores pueden modificar el eje horizontal del equipo y, con ello, provocar accidentes durante los aterrizajes automáticos. Los filtros de densidad neutra son complementos útiles cuando se busca morigerar el reflejo del sol en las rocas y en el sedimento. Finalmente, encontramos que, salvo en contadas ocasiones, los protectores y parasoles de estabilizador y cámara disponibles para la línea Mavic Pro a menudo limitan severamente la visibilidad

cuando se establece el ángulo de las fotografías a -90º respecto del eje horizontal del VANT.

Para diseñar los relevamientos aéreos utilizamos los software Copterus y UAV Forecast (Figura 2b y Figura 2c). El primero está destinado a diseñar los relevamientos, es liviano (228,1 MB), accesible (15 USD), y permite establecer el área de cobertura, el tipo de relevamiento (en grilla o en transectas), la inclinación de la cámara, los porcentajes de solapamiento de las fotografías, su formato, la altura de vuelo deseada, y el modelo de UAV a utilizar, todas estas variables en función de las que estima el número de baterías necesario para completar el relevamiento y la velocidad óptima de vuelo. Cualquier variable puede ser ajustada para encontrar el equilibrio entre la resolución deseada y el tiempo de vuelo desglosado en el número de baterías necesario. Una vez diseñado el relevamiento, el software vuelca las instrucciones de vuelo en un .txt y lo sube al VANT de modo inalámbrico. Durante el relevamiento, los usuarios pueden alternar entre la vista de mapa o la vista de cámara, pudiendo conservar cualquiera de ellas en imagen-sobre-imagen y cotejar así la integridad de las fotografías y del recorrido al tiempo que se pueden detectar rasgos de especial interés en una primera aproximación. Cada vez que la carga de la batería llega a un umbral crítico (en torno al 15 %), el software pausará el vuelo y ordenará al VANT que retorne para un cambio de batería que le permita retomar el relevamiento desde su última posición. Respecto de las condiciones de vuelo, utilizamos UAV Forecast. Se trata de un software gratuito para móviles que permite chequear las áreas de restricción, los índices Kp, y las condiciones climáticas y de cobertura satelital a diferentes alturas.

Dependiendo del terreno, el clima, y el estado de preservación del sitio, alternamos entre relevamientos en grilla o transectas con solapamientos de entre el 70 y el 80 % a una velocidad de 4 a 6 km/h. Dependiendo de la instancia específica del proyecto, la altura se ajusta en función de si se trata de un vuelo exploratorio para una detección preliminar de estructuras y senderos (Figura 3c) o detallado para dibujo vectorial y corrección de planos (Figura 3a y Figura 3b), a su vez dependiente de la obtrusividad de las técnicas constructivas (Figura 3d).

Para procesar las fotografías en formato RAW, utilizamos Metashape y Reality Capture. Una u otra opción son buenas pero, dependiendo de la cantidad de fotos, la rapidez buscada, el hardware disponible y el destino último del modelo fotogramétrico (investigación o difusión y creación de contenido), conviene utilizar el primero o el segundo respectivamente (Figura 4). Ambos proveen interfaces muy intuitivas y flujos de trabajo similares para quienes estén familiarizados con la fotogrametría, pero fortalezas y debilidades hacen a uno u otro más apto para propósitos estrictamente académicos o de difusión de resultados. En resumidas cuentas, Metashape permite un control más estricto de todas las variables de procesamiento y herramientas manuales y automatizadas para filtrar las nubes de puntos, además de la posibilidad de exportar los subproductos de cada instancia en varios formatos compatibles con otros software de modelado tridimensional y SIG. Reality Capture no permite un control tan estricto, pero su celeridad, subproductos, un consumo de recursos relativamente bajo, una automatización simplificada del flujo de trabajo y herramientas de clasificación por IA, lo hacen idóneo cuando se busca obtener resultados rápidamente y con propósitos expositivos. Es, de hecho, el software idóneo para la realización de videojuegos por su portabilidad inmediata a Unreal Engine. De todos modos, advertimos que puede requerir más instancias de corrección y revisión. Una revisión de las nubes de puntos en Cloud Compare sobre una selección de fotos para dos sitios reveló discrepancias entre RC y MS, con este último arrojando resultados más

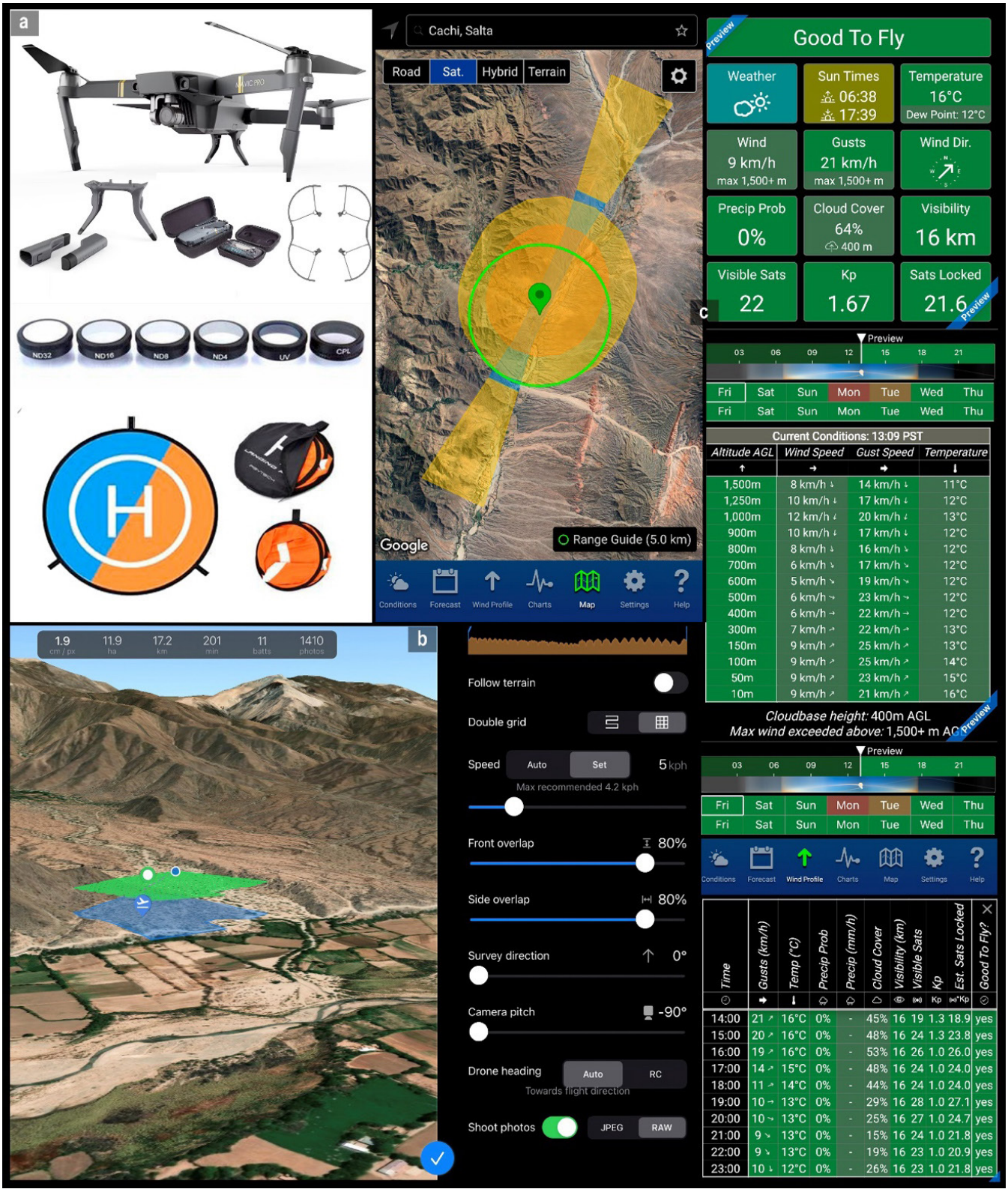


Figura 2. a) Equipamiento de base; b) Interfaz de Copterus; c) Información proporcionada por UAV Forecast.

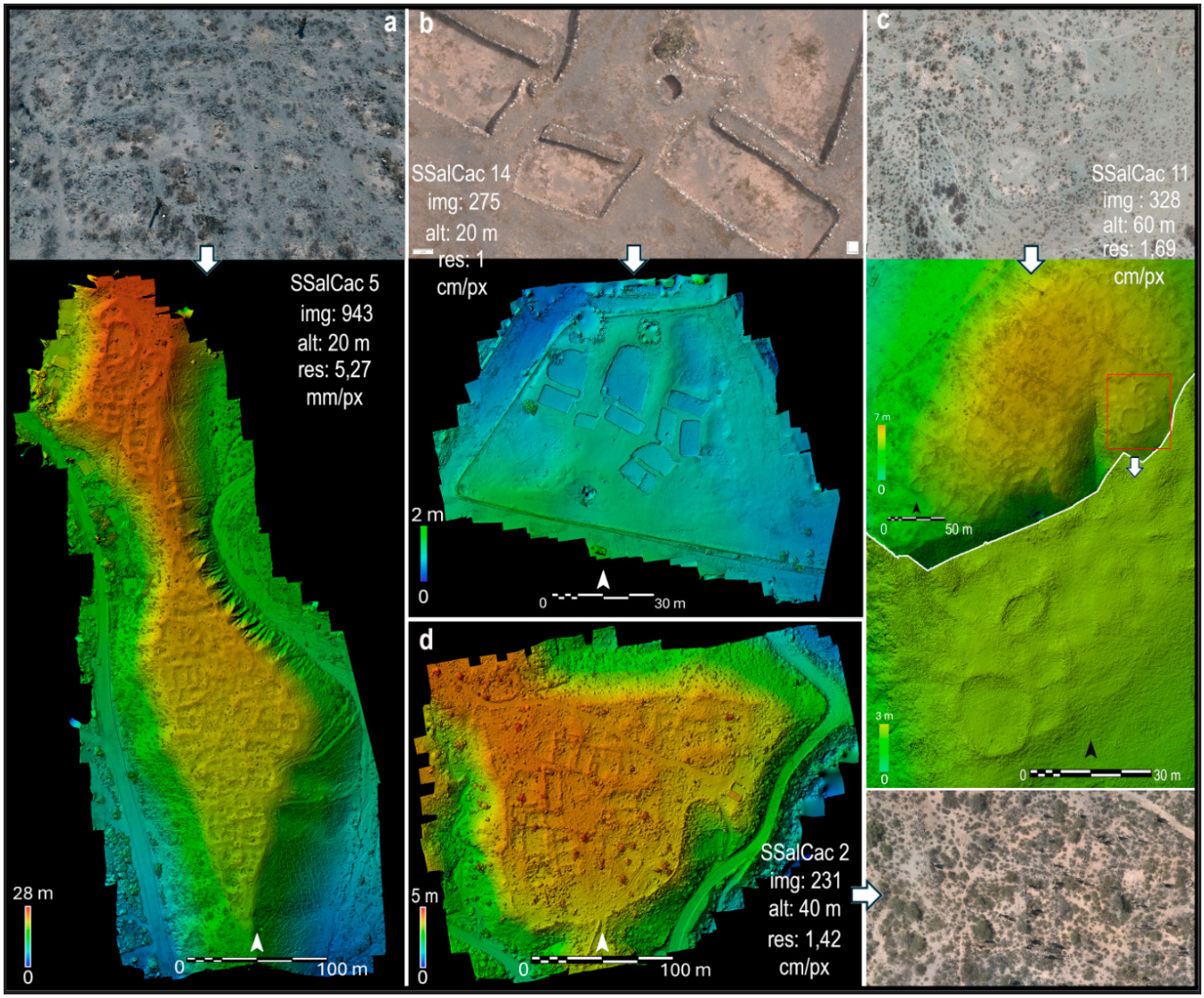


Figura 3. Ejemplos de: a) Vuelos bajos en sitio con recintos subexcavados y muy deteriorados; b) Con recintos subexcavados reconstruidos; c) Vuelo exploratorio en sitio con técnicas mixtas; d) Vuelo medio en sitio con arquitectura de superficie.

consistentes con los datos de campo y RC sobrerrepresentando profundidades de manera notoria en un caso (Figura 4). Estos ejemplos ofrecen un caso concreto de resultados dispares entre programas informáticos trabajando con los mismos datos de entrada, así como la necesidad de prestar especial atención a la información altitudinal de los puntos de control. Los tiempos informados en la Figura 4 corresponden a un equipo con un microprocesador Ryzen 9 7900, una placa de video RTX 3080 OC con 10 gb de memoria de video, 128 gb de memoria de acceso aleatorio ddr5 a 5200 MT/s y las imágenes alojadas en un NVME de 7000 y 5300 MB/s de lectoescritura. Aún nos encontramos realizando análisis sistemáticos sobre las nubes de puntos de 14 relevamientos para establecer regularidades en las discrepancias y acercarnos a una explicación.

Interpretación inmediata, depuración y ajuste para SIG

Los modelos resultantes, ya por defecto y aún sin correr análisis sobre ellos, contienen una abundante cantidad de información vital de alta calidad. Con solo verlos, se puede entender y contextualizar mejor la localización de los

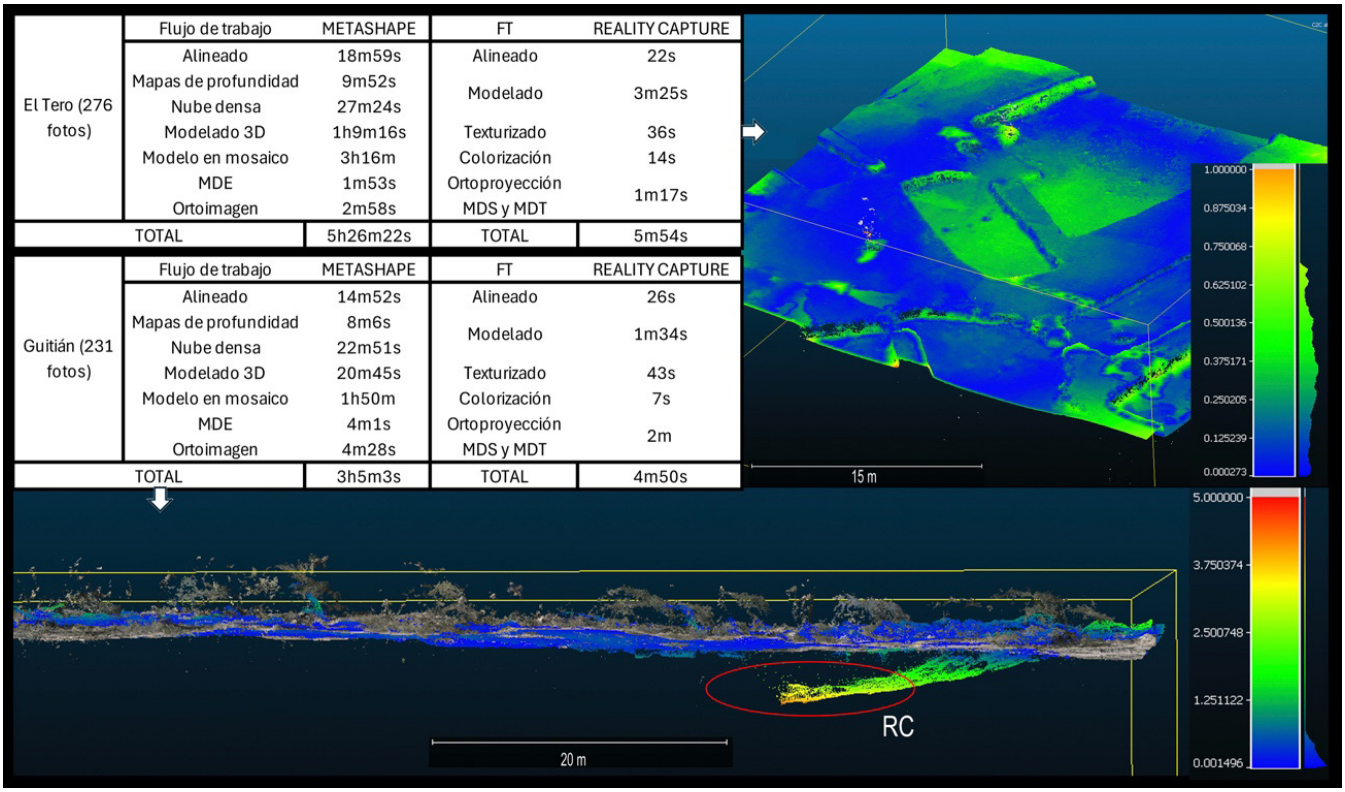


Figura 4: Síntesis de instancias y tiempos de procesamiento en Metashape y Reality Capture junto con discrepancias (en metros) entre las nubes de puntos identificadas mediante Cloud Compare.

sitios, especialmente en lo que concierne a el contexto general de emplazamiento (pendientes, accesibilidad, visibilidad), las características internas (topografía general, diagrama general, regularidades y particularidades en los diseños de planta, identificación de sectorizaciones y módulos arquitectónicos, caminos, *etc.*), condiciones generales de preservación, agentes posdeposicionales (actividad animal, vegetación, actividad del agua, senderos actuales), y la localización potencial de otras estructuras mediante la detección de depresiones difícilmente identificables a pie (ver, por ej., Forte *et al.* 2019). Realizar un plano únicamente a partir de un relevamiento fotogramétrico aéreo depende demasiado de la preservación, el tipo de arquitectura y la cobertura vegetal, pero sí permite identificar rápidamente la integridad de los planos disponibles y aquellas secciones que deben ser revisadas y corregidas. La disponibilidad de imágenes ortorectificadas en alta calidad puede incluso permitir identificar pequeñas evidencias en superficie, pero esto es fuertemente dependiente de la cobertura vegetal, la resolución de la cámara y la altura del vuelo. De todos modos, son hoy un punto de partida más que útil y ágil tanto para una primera aproximación como para realizar correcciones generales y afinar topografías, sobre todo en condiciones de mala preservación y con vegetación profusa, más allá de que no se pueda equiparar la precisión punto por punto de una estación total (Figura 5).

A la hora de avanzar hacia análisis más complejos, los MDE resultantes necesitan ser depurados o remuestreados, ya que algunos pueden llegar a representaciones de 5 mm/pixel, así como mallas y sólidos del orden de centenares de millones de caras, vértices y polígonos, lo que los hace especialmente demandantes. Esta depuración puede comenzar, cuando necesario, por la nube de puntos. Esta instancia es especialmente

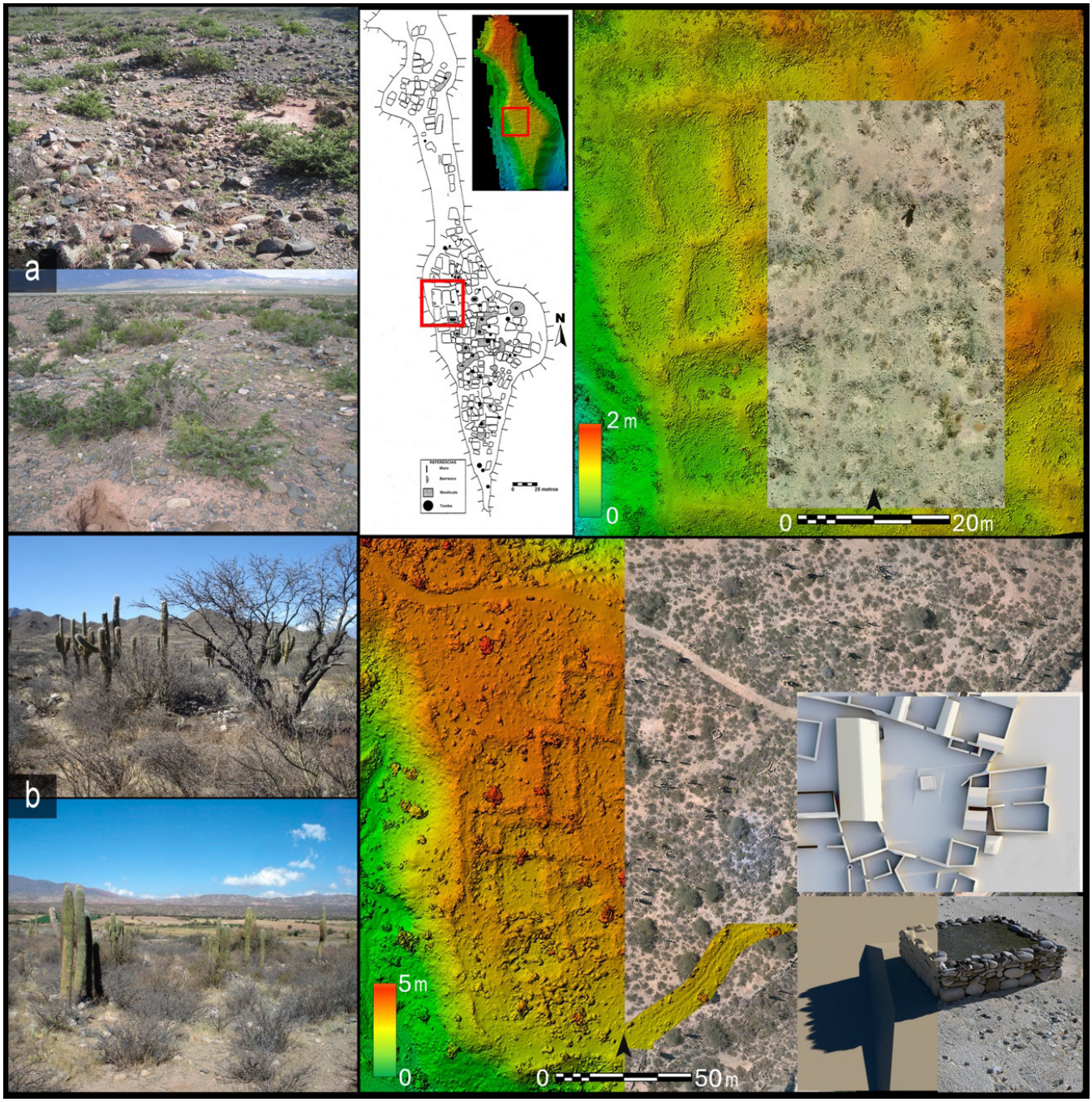


Figura 5. Vista *in situ*, plano, MDE y sección ortorectificada del sitio El Mariscal (a) y de Guitián (b) con modelo simplificado para programas multifísicos y renderizado expositivo.

importante cuando la vegetación es profusa o es muy alta agregando datos altitudinales que alteran el modelo digital resultante. Para correr análisis en SIG, a menudo resulta indispensable remuestrear las celdas al punto de equilibrio entre la pregunta de investigación y la resolución necesaria para responderla adecuadamente. A modo de ejemplo, programas de análisis de dispersión sonora y análisis de dispersión térmica permiten caracterizar los parámetros de las superficies, pero necesitan de un modelo depurado ya que cualquier irregularidad poligonal va a aumentar notablemente la necesidad de cálculo aún si son irrelevantes o poco significativas para el estudio. La necesidad de un modelo depurado no se agota en las demandas de los análisis multifísicos, sino que también son esenciales para la creación de entornos inmersivos de realidad virtual.

Fotogrametría al servicio de contenidos interactivos: la creación de entornos de realidad virtual

Uno de nuestros proyectos en curso implica la puesta en valor del patrimonio de las Comunidades Originarias Diaguita Kallchaki (CODK) del Valle Calchaquí Norte (Salta, Argentina), a partir del desarrollo de videojuegos de realidad virtual. Los miembros de las comunidades involucradas en el proyecto no se encuentran en estado de aislamiento y la mayoría tiene acceso frecuente a la tecnología y contenidos actuales, alimentados en parte por narrativas que surgen de la industria cultural de los centros urbanos (Castellanos *et al.* 2018; Lanusse 2007; Lazzari 2018; Sabio Collado 2013). Los adolescentes de estas comunidades en particular están inmersos en una realidad tecnológica (teléfonos celulares, computadoras, videojuegos, televisión) que reproduce contenidos que ignoran las tradiciones y conocimientos que otros segmentos de la población buscan recuperar. En diálogo con los miembros y representantes de estas comunidades, emprendimos la tarea de crear contenidos que surjan de la propia comunidad y que retratan sus tradiciones, creencias y saberes, incorporando los aportes de las investigaciones arqueológicas realizadas en el área. Consideramos que esta práctica conjunta de construcción y representación de saberes implica "la traducción de esa construcción en el diseño, planificación y ejecución conjunta de un plan de acción que busque abordar y responder a necesidades y problemáticas planteadas durante el mismo proceso de investigación" (Katzer 2022: 16), enfatizando las necesidades e intereses propios de las comunidades (Álvarez Larrain y McCall 2019). Buscamos también evaluar el modo en que estas experiencias de inmersión a través de dispositivos de realidad virtual pueden impulsar o favorecer la conservación del patrimonio (Falconer *et al.* 2020; Gonizzi Barsanti *et al.* 2015) y cómo estas experiencias afectan el proceso de desarrollo con identidad que atraviesan estas comunidades (Cook Inlet Tribal Council 2017; Wallis y Ross 2020).

En las experiencias de inmersión a través de dispositivos de Realidad Virtual (VR), un usuario individual experimenta la sensación de estar inmerso en un entorno virtual creado mediante motores de videojuegos (en este caso, Unreal Engine 5.4) y reproducido a partir de dispositivos VR (en este caso, casco VR Meta Quest 2) que promueven la sensación de estar presente en los entornos virtualizados (Rubio-Tamayo *et al.* 2017).

Para crear las experiencias de realidad virtual nos enfocamos en el sitio arqueológico El Tero (Valle Calchaquí Norte, Salta, Argentina), ocupado desde el periodo Intermedio Tardío y durante el período Inca y hoy parque arqueológico y reserva. Este sitio presenta una serie de ventajas para el proyecto. En primer lugar, entre 1970 y el año 2000 se hicieron excavaciones y rescates intensivos en más de 20 recintos (Cabral Ortiz y Rivolta 2020; Tarragó 1978). En segundo lugar, fue parcialmente reconstruido para oficiar de parque arqueológico y reserva, y luego se convirtió en un espacio de encuentro y memoria actualmente administrado por las comunidades. Dentro de este parque se encuentran 10 recintos completamente reconstruidos en la década de 1970 y dos adicionales incorporados en el año 2000 (Soria 2005).

Para alcanzar los objetivos planteados se organizaron las actividades de acuerdo con tres etapas de trabajo (Figura 6): 1) recopilación y registro, 2) procesamiento y 3) publicación y difusión de los resultados. La primera etapa consistió fundamentalmente en un registro fotogramétrico aéreo y terrestre exhaustivo de los sitios y de las piezas arqueológicas que están en el Museo Arqueológico Pío Pablo Díaz (Cachi, Salta). Adicionalmente, como complemento a los relevamientos fotogramétricos, empleamos un dispositivo portátil con tecnología de

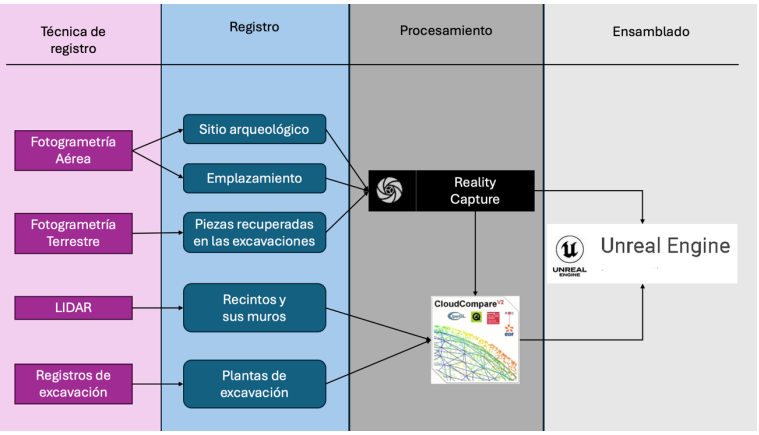


Figura 6. Flujo de trabajo.

relevamiento LIDAR en los laterales de los muros. En una segunda etapa, procesamos las fotografías para crear modelos tridimensionales que se puedan incorporar al entorno de Unreal Engine para dar forma y ajustar la experiencia de realidad virtual. Finalmente, luego de generar las primeras versiones del entorno de realidad virtual, presentamos los resultados preliminares a las comunidades y las direcciones a futuro atendiendo a sus necesidades. Si bien contamos con resultados preliminares, actualmente nos estamos focalizando en pulir los resultados de las dos primeras etapas del proyecto de cara al producto final.

La fotogrametría y videogrametría aérea de El Tero

Para el relevamiento fotogramétrico del sitio El Tero realizamos cuatro vuelos (Figura 7). El primer vuelo se circunscribió al predio del actual parque Memoria y Encuentro El Tero y sus 12 estructuras reconstruidas siguiendo una traza de grillado cenital (cámara a -90°) a una altitud de 20 m con una superposición del 70 % (Figura 7a). Se obtuvieron un total de 276 imágenes georeferenciadas que permitieron la generación del modelo de base de las estructuras y del predio en general. Este vuelo fue complementado con un vuelo siguiendo un patrón concéntrico en torno a las estructuras (Figura 7b), filmando en 4k y con inclinación de cámara de 45 grados, que nos permitió una reconstrucción más precisa de los muros internos de los recintos. Dos vuelos adicionales se destinaron a capturar el paisaje circundante al parque arqueológico, también en modo video 4k pero con alturas e inclinaciones de cámara variables (Figura 7c y Figura 7d).

En el caso de los videos, para los vuelos NO-SE y SE-NO se extrajeron los fotogramas a intervalos de 1 segundo, garantizando una superposición de más del 90 %. Para el vuelo en patrón concéntrico se extrajeron fotogramas cada 0.5 segundos para garantizar el mismo grado de superposición. A diferencia de lo que ocurre con las fotos, los fotogramas extraídos no poseen información geoespacial asociada, de modo que para georeferenciar las imágenes se utilizaron como referencia los datos de georeferenciación obtenidos del primer vuelo, estableciendo puntos de control comunes en los cuatro vuelos. Finalmente, tanto las fotografías como los fotogramas fueron procesadas en conjunto para obtener una nube de puntos que incluye al predio del parque, las estructuras arqueológicas reconstruidas, las edificaciones modernas a su alrededor, y el paisaje circundante (Figura 7e y Figura 7f), e integradas en una malla sólida texturizada (Figura 7g). Para el procesamiento fotogramétrico se utilizó una computadora de escritorio con procesador i9 11900k, 64 Gb. de RAM ddr4 y placa de video rtx 3080 con 12 gb de memoria Vram. El proceso fotogramétrico se realizó íntegramente en el software Reality Capture 1.3. Para complementar la resolución de los laterales de los muros, utilizamos el LiDAR integrado a un Ipad Pro 11 (Figura 8). Para el relevamiento se utilizaron las aplicaciones Sitescapes y Appscanner. La primera permite derivar nubes de puntos y la segunda es una aplicación gratuita que permite derivar directamente polígonos y texturas de las estructuras capturadas. En el caso de El Tero, registramos todas las estructuras reconstruidas. El tiempo de relevamiento de cada estructura no excedió los cinco minutos. Dado que la versión gratuita de Sitescape solo permite capturar un

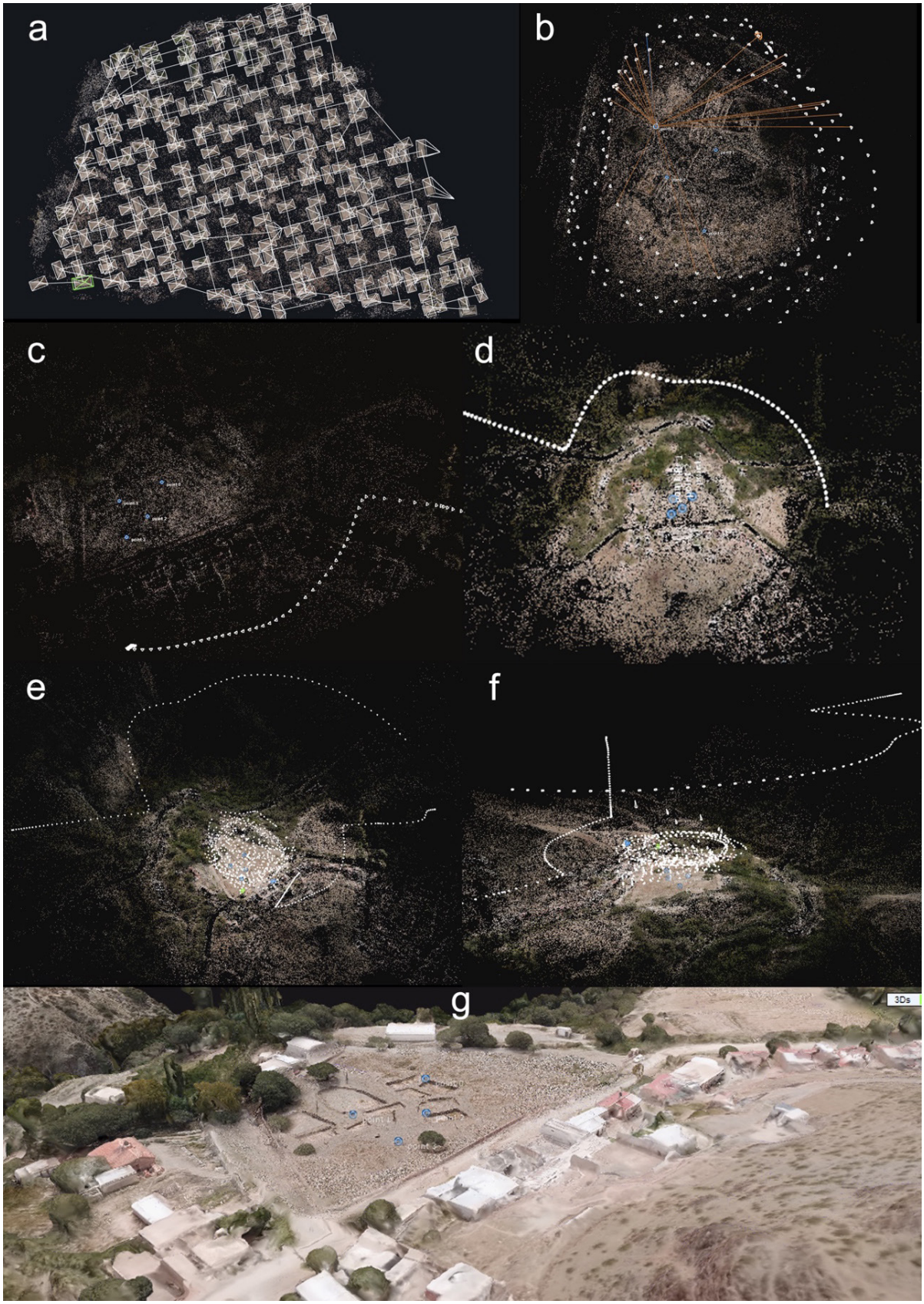


Figura 7. Vuelo cenital a) vuelo de patrón concéntrico; b) vuelo SE-NO; c) vuelo NO-SE; d) unificación de todos los cuatro vuelos en un único componente; e y f), modelo sólido texturizado de El Tero (g).

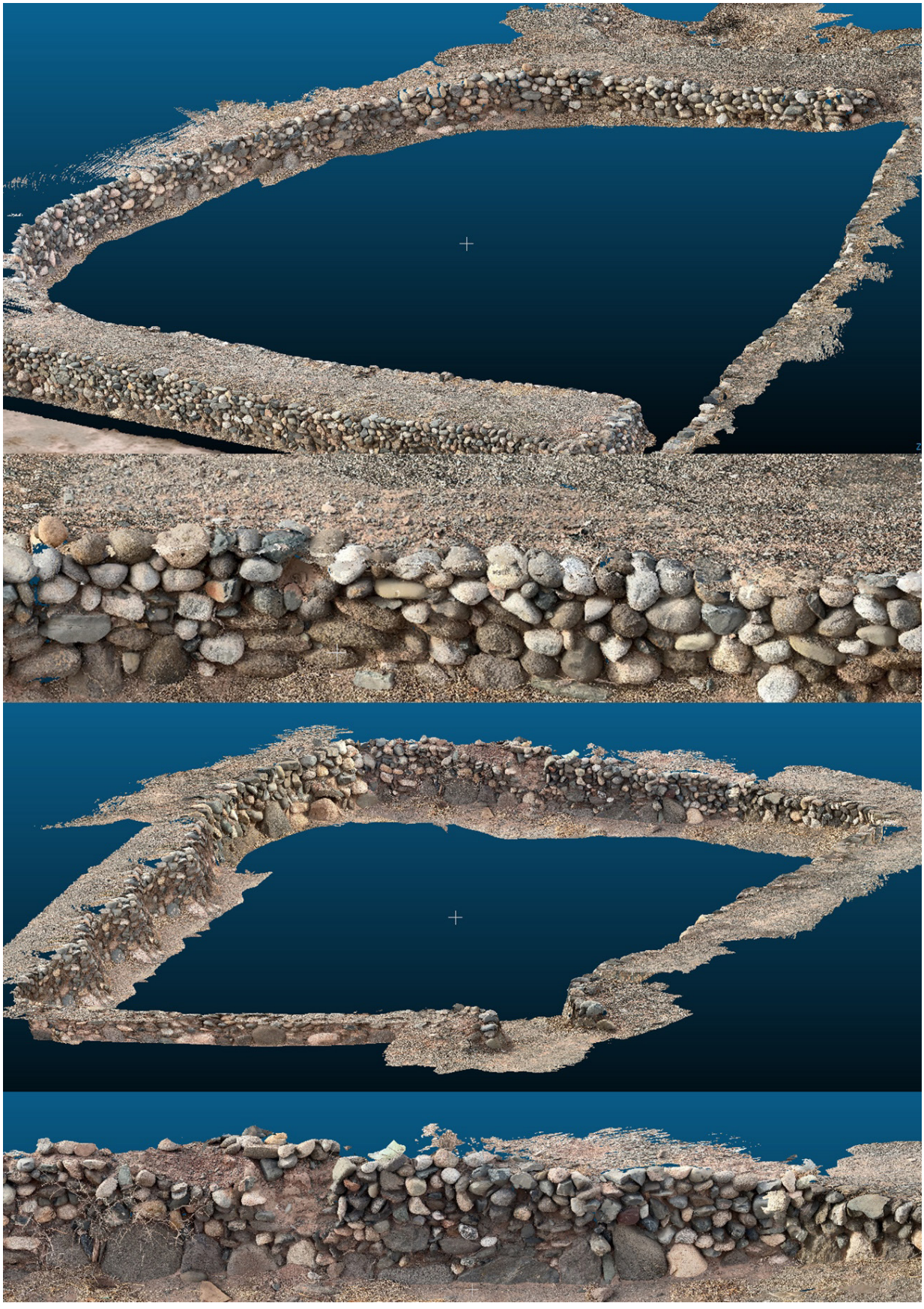


Figura 8. Relevamiento con LIDAR y detalle de los muros modelados.

número finito puntos, cada estructura debió registrarse por partes para luego alinear y fusionar las diferentes secciones. Las nubes de puntos se procesaron con el software de distribución gratuita Cloud Compare, que nos permitió construir, alinear y comparar las mallas. Para el procesamiento de los modelos de polígonos texturizados se utilizó el programa de distribución libre Meshlab.

Fotogrametría y videogrametría de piezas arqueológicas

El sitio arqueológico El Tero cuenta con más de 30 años de excavaciones en más de 25 estructuras, pero solo 12 de ellas fueron reconstruidas para formar parte del Parque Arqueológico Encuentro y Memoria El Tero. Las excavaciones recuperaron más de 2000 piezas que se encuentran en el museo arqueológico Pío Pablo Díaz (Cachi, Salta) e incluyen lítico, cerámica, metales, y orgánicos varios (óseo, cestería, madera, textiles, entre otros). Parte de estos materiales está siendo registrada mediante fotogrametría, pero dada la necesidad de agilizar la tarea y manipular las piezas lo menos posible, en varios casos aplicamos videogrametría (Figura 9) con una cámara con un sensor APS-C CMOS con una resolución de 20.9 megapixeles filmando en 4k. Los fotogramas fueron extraídos y procesados mediante el software Reality Capture 1.3 y, dado que los requerimientos de procesamientos fueron mucho menores que los necesarios para procesar los vuelos fotogramétricos usamos una computadora portátil con procesador i7 11370H con 16gb de RAM DDR5 y placa de video dedicada rtx 3060 de 4gb de Vram.

Resultados integrados: ensamblado para realidad virtual

El modelo resultante de la fotogrametría aérea de El Tero fue procesado en el programa Cloud Compare para filtrar vegetación y construcciones modernas. El análisis de los registros de excavación permitió además reconstruir la posición y forma de las 13 estructuras que fueron excavadas, pero no reconstruidas. Utilizando como referencia los modelos LIDAR de las estructuras reconstruidas, fue posible modelizar los muros de estas estructuras e incorporarlas al modelo general. Haciendo uso del algoritmo de Poisson, se reconstruyeron pendientes, agujeros por filtrado de la vegetación, y zonas de contacto entre los modelos LiDAR y fotogramétricos, dando como resultado un modelo único que aúna todas las fuentes de registro (Figura 10a). Debido a su excesiva escala, volumen de datos y complejidad, el modelo resultante fue fraccionado en 56 secciones e incorporado a Unreal Engine 5.4. Los modelos de las piezas registradas por fotogrametría fueron incorporados directamente en Unreal Engine desde Reality Capture, ya que no necesitaban un procesamiento adicional. No obstante, en algunos casos procesamos las texturas por separado para generar capas con colores y motivos realzados (Figura 9e y Figura 9f). Unreal Engine tiene motores de iluminación, acústica y físicas propias (Figura 10b), pero además permite generar escenarios y animaciones que ofrecen la posibilidad de interactuar de manera inmersiva mediante la programación orientada a objetos (para desplazarse, agarrar objetos, moverlos o arrojarlos). De este modo, los objetos registrados mediante fotogrametría pasan a formar parte de los componentes interactivos de los escenarios (Figura 10c) (Anexo). El resultado de la reproducción en dispositivos de realidad virtual (en nuestro caso el Oculus Metaquest 2) es la experiencia inmersiva de recorrer El Tero en primera persona con narrativas construidas a partir de las perspectivas de las comunidades locales y de las investigaciones arqueológicas.

A la fecha, se han presentado los resultados parciales del proyecto en pequeños encuentros informales y en asambleas comunitarias. En ellas se han repasado los objetivos del proyecto, se han expuesto las técnicas de registro y detallado el funcionamiento del equipamiento,

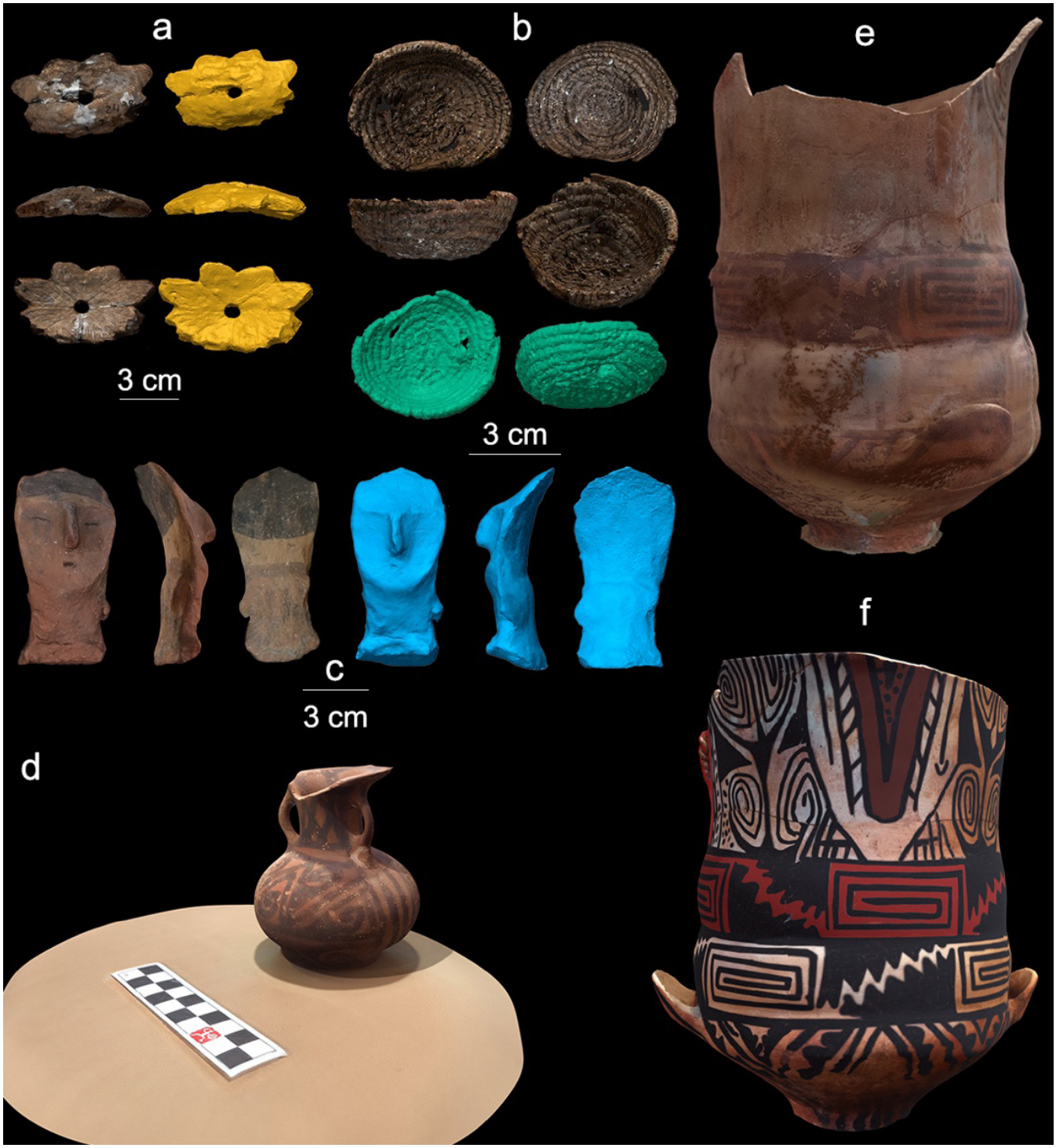


Figura 9. Digitalización de piezas del Museo Arqueológico Pío Pablo Díaz; a) tortero de madera b) cesta; c) figurilla de cerámica; d) jarra; e) urna con colores originales; f) restaurados.

y se ha invitado a miembros de las comunidades locales a participar de diferentes versiones de la experiencia VR (Figura 11). A partir de estos encuentros se debatieron los contenidos y se delinearon las modificaciones y direcciones a futuro. La versión final de la experiencia VR prevé la instalación de una muestra estable en la localidad de Cachi y una muestra itinerante que recorra diferentes localidades, garantizando así el acceso de las distintas comunidades Diaguita Kallchaki.

Consideraciones finales

En los últimos 20 años en particular, una serie de desarrollos tecnológicos relativamente independientes y con grandes progresos en cada salto generacional, cambiaron algunos estándares de la práctica arqueológica. Los nuevos desafíos nos llevan a concentrarnos en traducir las necesidades y las preocupaciones de la práctica arqueológica en un conjunto de procesos, lenguajes y herramientas automatizadas que se acoplen a las nuevas tecnologías de captura y procesamiento de imágenes. El incremento de la autonomía, la mejora efectiva de la cobertura, el incremento de la resolución de las fotografías y videos generados por VANT, las mejoras en la transmisión de datos y controles más precisos hacen de los VANT una excelente herramienta para las investigaciones arqueológicas a escala de sitio. Todo esto es una obviedad, pero en el terreno de la especulación, ¿qué implica la evolución de estas tecnologías emergentes para el futuro de la práctica arqueológica? Cierto es que la evolución en los equipamientos y en las capacidades de los programas asistidos por inteligencia artificial muestran hoy que nos acercamos a la automatización de ciertas instancias de campo y laboratorio (p. ej., prospecciones y análisis de imágenes satelitales y aéreas). Si esto es o no beneficioso para la arqueología es algo que continúa en debate y que será cuestionado sin duda por los enfoques que enfatizan la importancia de la experiencia de campo como fuente primaria de hipótesis e interpretaciones. Por ahora, es claro que la fotogrametría aérea o terrestre son aún complementos y no reemplazos.

Tecnologías emergentes como la realidad virtual, cuando se sirven de la fotogrametría para integrar sitios y materiales arqueológicos a sus entornos, sin dudas dan un gran salto hacia una difusión más cautivante del conocimiento arqueológico y a una democratización del conocimiento en general. Sin embargo, queda ver cómo participan los diferentes segmentos de la sociedad de ello. Cuán accesible es en realidad y cuál es la clase de conocimientos que se están difundiendo son temas de debate. ¿Quiénes producen, consumen, y cuán simétrica es la relación, especialmente con aquellos segmentos que tienen una relación afectiva especialmente delicada con el patrimonio? Intentamos por ello trabajar bajo un paradigma participacionista (en términos de García Canclini 1999) a fin de fomentar relaciones más simétricas entre aquellos interesados en recuperar, mantener y promover conocimientos y actividades tradicionales y las instituciones (gubernamentales o privadas) que intervienen directa e indirectamente sobre los mecanismos de patrimonialización. Tal aproximación invita a establecer las prioridades de la intervención patrimonial en función de diferentes necesidades, inquietudes y perspectivas, procurando conservar la mayor pluralidad de significados posible. Esto implica destinar esfuerzos a actividades que integren los intereses y necesidades de aquellos segmentos que intervienen activamente en los procesos identitarios nacionales, y son de especial relevancia cuando representan minorías históricamente oprimidas.

Agradecimientos: Los resultados que se exponen en este artículo son el producto de un subsidio de Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research, Engaged Research Grant (EGR 33) y el patrocinio del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, Argentina). Agradecemos también a la comunidad Diaguita–Kallchaki por interesarse y participar activamente en discusiones y trabajos de campo y por la continua hospitalidad y predisposición. Finalmente, a los editores y a los evaluadores quienes han mejorado este artículo desde el anonimato con sus observaciones.

Bibliografía citada

Abidin, M. S. Z. y M. F. M. Ariff
2023 UAV Photogrammetry for Road Defects. *Journal of Advanced Geospatial Science and Technology* 3(1): 1-14. https://doi.org/10.11113/jagst.v3n1.58

Álvarez Larrain, A. y M. McCall
2019 "La cartografía participativa como propuesta teórico-metodológica para una arqueología del paisaje latinoamericana. Un ejemplo desde los Valles Calchaquíes (Argentina)". *Antípoda. Revista de Antropología y Arqueología* 36(1): 85-112. https://doi.org/10.7440/antipoda36.2019.05

Álvarez Larrain, A., C. Greco y M. Tarragó
2021 Participatory mapping and UAV photogrammetry as complementary techniques for landscape archaeology studies: an example from north-western Argentina. *Archaeological Prospection* 28(1): 1-15.

American Society of Photogrammetry and Remote Sensing
2004 *Manual of Photogrammetry, Fifth Edition*. ASPRS, Maryland.

Asadpour, A.
2021 Documenting Historic Tileworks Using Smartphone-Based Photogrammetry. *Mersin Photogrammetry Journal* 3(1): 15-20. https://doi.org/10.53093/mephoj.899432

Ávido, D. y M. Vitores
2016 Aplicación de herramientas digitales para la reconstrucción tridimensional de soportes rupestres en el Noroeste Patagónico. *Imágenes Rupestres: lugares y regiones* (ed. por F. Oliva, A. Rocchietti y F. Solomita Banfi), pp. 403-414. Universidad Nacional de Rosario.

Balsi, M., S. Esposito, P. Fallavollita, M. G. Melis y M. Milanese
2021 Preliminary Archeological Site Survey by UAV-Borne Lidar: A Case Study. *Remote Sensing* 13(3): artículo 332. https://doi.org/10.3390/rs13030332

Barreau, J.-B., T. Nicolas, G. Bruniaux, E. Petit, Q. Petit, Y. Bernard, R. Gaugne y V. Gouranton
2014 Photogrammetry Based Study of Ceramics Fragments. *International Journal of Heritage in the Digital Era* 3(4): 643-656. https://doi.org/10.1260/2047-4970.3.4.643

Brady, L., M. D. Howland y T. E. Levy
2017 Testing Google Earth Engine for the automatic identification and vectorization of archaeological features: A case study from Faynan, Jordan. *Journal of Archaeological Science: Reports* 15: 299-304.

Cabezos-Bernal, P. M., P. Rodríguez-Navarro y T. Gil-Piqueras
2021 Documenting Paintings Using Gigapixel SfM Photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 46(1): 93-100. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-93-2021

Cabral Ortiz, J. E. y M. C. Rivolta
2020 Museo, identidad y patrimonio: reseñas sobre las intervenciones en el sitio arqueológico El Tero (Cachi, Salta). *Mundo de Antes* 14(1): 175-197. https://doi.org/10.59516/mda.v14.28

Casañas Rigoli, R. A.
2022 Relevamientos fotogramétricos en colecciones arqueológicas y etnográficas del Instituto de Arqueología y Museo, Tucumán, Argentina. *Conservar Património* 39: 114-125. https://doi.org/10.14568/cp2020032

Castellanos, M. C., P. Lanusse, L. B. Rodríguez, M. V. Sabio Collado y A. J. Villagrán
2018 Los valles calchaquíes y los diaguitas: Procesos históricos, desigualdades y disputas identitarias. *Voces en el Fénix* 72: 22-25. https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/87315

Chiabrando, F., F. D'Andria, G. Sammartano y A. Spanò
2018 UAV Photogrammetry for Archaeological Site Survey: 3D Models at the Hierapolis in Phrygia (Turkey). *Virtual Archaeology Review* 9(18): 1-16. https://doi.org/10.4995/var.2018.5958

Chong, A. K., P. Milburn y M. Ter Voert
2009 High-accuracy photogrammetric technique for human spine measurement. *The Photogrammetric Record* 24(127): 264-279. https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2009.00540.x

Cook Inlet Tribal Council
2017 Storytelling for the next generation. *The Interactive Past. Archaeology, Heritage & Video Games* (ed. por A. Mol, C. Ariese, K. Boom y A. Politopoulos), pp. 21-32. Sidestone Press, Leiden.

Drap, P.
2012 Underwater Photogrammetry for Archaeology. *Special Applications of Photogrammetry* (ed. por D. Carneiro da Silva), pp. 111-136. CNRS, French National Center for Scientific Research, LSIS Laboratory UMR CNRS 6168.

Esmaeili, H. y H. Thwaites
2016 Virtual Photogrammetry. *VSMM 2016: Proceedings of the 23rd International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM).* https://doi.org/10.1109/VSMM.2016.7863153

Falconer, L., D. Burden, R. Cleal, R. Hoyte, P. Phelps, N. Slawson, N. Snashall y K. Welham
2020 Virtual Avebury: Exploring sense of place in a virtual archaeology simulation. *Virtual Archaeology Review* 11(23): 50-62. https://doi.org/10.4995/var.2020.12924

Ferrari, A., I. Leibowicz, F. Acuto y J. Izaguirre
2017 Arquitectura y paisaje sonoro de un asentamiento Inka en el Noroeste Argentino. *Chungara: Revista de Antropología Chilena* 49(3): 309-325. https://doi.org/10.4067/S0717-73562017005000025

Ferrari, A., J. Izaguirre y F. Acuto
2021 A bit closer to the past: the three-dimensionalization of an Inca ceremony in the North Calchaquí Valley (Salta, Argentina). *Virtual Archaeology Review* 12(25): 16-41. https://doi.org/10.4995/var.2021.15285

Figueroa, G., M. Dantas y A. Bachmeier
2019 Recorriendo montes y pastizales en el norte del Valle de Ambato, Catamarca, Argentina. Estrategias de prospección arqueológicas en zonas de baja visibilidad. *Libro de Resúmenes del XX Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, pp. 1725-1728.

Forlani, G., L. Pinto, R. Roncella y D. Pagliari
2013 Terrestrial Photogrammetry without Ground Control Points. *Earth Science Informatics* 7(1): 71-81. https://doi.org/10.1007/s12145-013-0127-1

Forte, M., N. Danelon y A. Marciniak
2019 Drones at Çatalhöyük: A New Survey for Landscape Interpretation. *The Archaeology of Anatolia: Recent Discoveries (2017-2018), Volume 3* (ed. por S. R. Steadman y G. McMahon), pp. 163-174. Cambridge Scholars Publishing, Cambridge.

García Canclini, N.
1999 Los usos sociales del patrimonio cultural. *Patrimonio Etnológico: Nuevas Perspectivas de Estudio* (ed. por A. Criado), pp. 16-33. Consejería de Cultura. Junta de Andalucía.

Gajski, A., A. Solter y M. Gasparović
2016 Applications of Macro Photogrammetry in Archaeology. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 41(B5): 12-19. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B5-12-19-2016

Giné, C.
2017 Fotogrametría para la conservación-restauración de bienes culturales. *Unicum* 17: 153-162.

Gini, R., D. Pagliari, D. Passoni, L. Pinto, G. Sona y P. Dosso
2013 UAV Photogrammetry: Block Triangulation Comparisons. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40(1): 157-162. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-157-2013

Gonizzi Barsanti, S., Caruso, G., Micoli, L. Covarrubias Rodriguez, M. y G. Guidi.
2015 3D visualization of cultural heritage artefacts with virtual reality devices. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 25: 165-172.

Gruen, A. y D. Akca
2007 Mobile Photogrammetry. *DGPF Tagungsband Dreiländertagung SGPBF, DGPF und OVG* (ed. por Society for Photogrammetry and Remote Sensing), pp. 441-451.

Guisado-Pintado, E., D. W. T. Jackson y D. Rogers
2019 3D Mapping Efficacy of a Drone and Terrestrial Laser Scanner over a Temperate Beach-Dune Zone. *Geomorphology* 328: 157-172. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.12.013

Hanke, K. y M. Abdel-Bary Ebrahim
2016 Monument Presentation Using Digital Architectural Photogrammetry. *Proceedings of the CIPA Heritage Documentation*. Symposium, Institute of Geodesy, University of Innsbruck, Austria.

Iturbe, A., R. Cachero, D. Cañal y A. Martos
2018 Virtual Digitization of Caves with Parietal Paleolithic Art from Bizkaia: Scientific Analysis and Dissemination through New Visualization Techniques. *Virtual Archaeology Review* 9(18): 57-65. https://doi.org/10.4995/var.2018.7579

Iyer, M., B. Gupta, S. Sawant y S. Velankar
2020 Dimensional Scanning Using Photogrammetry. *IOSR Journal of Engineering* 10(5): 48-53.

Izaguirre, J. y A. Ferrari
2018 Aproximación preliminar a la simulación de la dispersión sonora en asentamientos arqueológicos. *Arqueología* 24(3): 59-78.

Izaguirre, J., A. Ferrari y F. Acuto
2024 Exploring cultural heritage and archaeological research from a VR-based approach. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 32: 00318. https://doi.org/10.1016/J.DAACH.2024.E00318

Izeta, A., I. Prado y R. Cattáneo
2021 Sentando las bases para una arqueología digital en Argentina. El rol de las infraestructuras digitales para la investigación. *Intersecciones en Antropología* 22(1): 97-109. https://doi.org/10.37176/iea.22.1.2021.595

Katzer, L.
2022 Más allá de la "co-teorización": Formas comunes de la etnografía colaborativa. *Etnografías colaborativas y comprometidas contemporáneas* (ed. por L. Katzer y M. Manzanelli), pp. 16-44. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Buenos Aires.

Kokamägi, K., K. Türk y N. Liba
2020 UAV Photogrammetry for Volume Calculations. *Agronomy Research* 18(3): 2087-2102. https://doi.org/10.15159/AR.20.213

Lanusse, P.
2007 *Memoria y alteridades indígenas en Cachi, provincia de Salta.* Tesis de Licenciatura en Ciencias Antropológicas. FFyL, Universidad de Buenos Aires. http://repositorio.filo.uba.ar/bitstream/handle/filodigital/2663/uba_ffyl_t_2007_839787.pdf?sequence=1

Lanzelotti, S. L., M. Lamamí, E. Gaal y F. Cabrera
2019 Relevamiento arquitectónico del sitio Masao, Santa María, Catamarca, con VANT. *XX Congreso Nacional de Arqueología Argentina: Libro de Resúmenes*, pp. 1336-1338.

Lanzelotti, S., R. P. Reinoso y V. Williams
2024 Drones en arqueología: relevamiento fotogramétrico del Pucará de Tacuil en el valle Calchaquí medio, Salta, Argentina. *Estudios Socioterritoriales* 35(2): 179-196. https://doi.org/10.37838/unicen/est.35-2-108

Lazzari, A.
2018 La reemergencia indígena en la argentina: coordenadas y horizontes. *Voces en el Fénix* 72: 12-21. https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/177778

Lorenzo, G. S., L. López, R. A. Moralejo y L. M. del Papa
2019 Fotogrametría SFM aplicada a la determinación taxonómica de restos arqueofaunísticos. *Virtual Archaeology Review* 10(1): 70-83. https://doi.org/10.4995/var.2019.11094

Lucet, G. y A. Casas
2011 Modeling of an Aztec Sculpture with Photogrammetry. *Proceedings of the CIPA Heritage Documentation Symposium*. Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.

Mallea, C. N.
2019 El sitio patrimonial, mina de Gualilán. *Libro de Resúmenes del XX Congreso Nacional de Arqueología Argentina* (comp. por A. Laguens, M. Bonnin y B. Marconetto), pp. 540-544. Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.

Martorelli, M., C. Penza y D. Speranza
2014 Digital Photogrammetry for Documentation of Maritime Heritage. *Journal of Maritime Archaeology* 9: 81-93. https://doi.org/10.1007/s11457-014-9124-x

Moyano, G.
2017 El uso de fotogrametría digital como registro complementario en arqueología. Alcances de la técnica y casos de aplicación. *Comechingonia. Revista de Arqueología* 21(2): 333-350. https://doi.org/10.37603/2250.7728.v21.n2.26789

Murtiyoso, A., E. Pellis, P. Grussenmeyer, T. Landes y A. Masiero
2022 Towards Semantic Photogrammetry: Generating Semantically Rich Point Clouds from Architectural Close-Range Photogrammetry. *Sensors* 22(966): 1-18. https://doi.org/10.3390/s22030966

Nex, F. y F. Remondino
2014 UAV for 3D Mapping Applications: A Review. *Applied Geomatics* 6(1): 1-15. https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x

Nicolae, C., E. Nocerino, F. Menna y F. Remondino
2014 Photogrammetry applied to problematic artefacts. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40(5): 23-25. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-451-2014

Oczipka, M., J. Bemmann, H. Piezonka, J. Munkbayar, B. Ahrens, M. Achtelik y F. Lehmann
2009 Small drones for geo-archaeology

in the steppe: locating and documenting the archaeological heritage of the Orkhon Valley in Mongolia. *Proc. of SPIE, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IX* (ed. por M. Ulrich y D. L. Civco), Vol. 7478, 747806. https://doi.org/10.1117/12.830404

Okimoto, M. L. L. y A. A. Klein
2012 Photogrammetry procedures applied to anthropometry. *Work* 41: 4046-4052. https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0069-4046

Orengo, H. A. y A. Garcia-Molsosa
2019 A brave new world for archaeological survey: Automated machine learning based potsherd detection using high-resolution drone imagery. *Journal of Archaeological Science* 112: 105013. https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105013

Orengo, H. A., F. C. Conesa, A. Garcia-Molsosa, A. Lobo, A. S. Green y C. A. Petrie
2020 Living on the edge of the desert: automated detection of archaeological mounds in Cholistan (Pakistan) using machine learning classification of multi-sensor multitemporal satellite data. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(31): 18240-18250. https://doi.org/10.1073/pnas.2005583117

Orengo, H. A., A. Garcia-Molsosa, I. Berganzo-Besga, J. Landauer, P. Aliende y S. Tres-Martínez
2021 New developments in drone-based automated surface survey: Towards a functional and effective survey system. *Archaeological Prospection* 28(4): 519-526. https://doi.org/10.1002/arp.1822

Qubaa, A., R. G. Thannoun y R. M. Mohammed
2022 UAVs/drones for photogrammetry and remote sensing: Nineveh archaeological region as a case study. *World Journal of Advanced Research and Reviews* 14(3): 358-368. https://doi.org/10.30574/wjarr.2022.14.3.0539

Raffaele, L., C. Greco, G. Conforti y M. Cirou Acevedo
2019 Experiencias de uso de fotogrametria terrestre y aérea para el monitoreo de estado de conservación. *Libro de Resúmenes del XX Congreso Nacional de Arqueología Argentina* (comp. por A. Laguens, M. Bonnin y B. Marconetto), p. 1598. Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.

Remondino, F., S. Del Pizzo, T. Kersten y S. Troisi
2012 Low-cost and open-source solutions for automated image orientation - a critical overview. *Lecture Notes in Computer Science* 7616: 40-54. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34234-9_5

Remondino, F., F. Menna, A. Koutsoudis, C. Chamzas y S. El-Hakim
2013 Design and implement a reality-based 3D digitisation and modelling project. *Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)* 1: 137-144. https://doi.org/10.1109/digitalheritage.2013.6743723

Rhodes, R. K.
2017 UAS as an Inventory Tool: A Photogrammetric Approach to Volume Estimation. *Graduate Theses and Dissertations*. University of Arkansas, Fayetteville. https://scholarworks.uark.edu/etd/2424

Roteta-Lannes, C., M. A. Pupio y N. Mazzia
2024 La fotogrametría en las estrategias de comunicación: análisis del uso de modelos 3D en la Arqueología bonaerense. *Revista del Museo de Antropología* 17(1): 43541. https://doi.org/10.31048/1852.4826.v17.n1.43541

Rowland, C. y K. Hyttinen
2017 Photogrammetry in Depth: Revealing HMS Hampshire. *Proceedings of EVA*, pp. 358-364. https://doi.org/10.14236/ewic/EVA2017.72

Rubio-Tamayo, J. L., M. Gertrudix Barrio y F. García García

Immersive Environments and Virtual Reality: Systematic Review and Advances in Communication, Interaction and Simulation. *Multimodal Technologies and Interact* 21(1): 1-20. https://doi.org/10.3390/mti1040021

Sabio Collado, M. V.
2013 Revisibilización indígena, memoria e identidad en una comunidad urbana: Las marcas de los 'ancestros' diaguitas. *Claroscuro. Revista del Centro de Estudios sobre Diversidad Cultural* 12: 54-72.

Samaan, M., R. Heno y M. Pierrot-Deseilligny
2013 Close-Range Photogrammetric Tools For Small 3D Archaeological Objects. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40(5): 549-553. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-549-2013

Smith, M., J. Carrivick y D. Quincey
2016 Structure from Motion Photogrammetry in Physical Geography. *Progress in Physical Geography* 40: 247-275. https://doi.org/10.1177/0309133315615805

Soria, S.
2005 *La gestión de recursos arqueológicos en la localidad de Cachi (Salta, Argentina)*. Tesis de maestría. Flacso, Ecuador. https://docs.repositoriobiocultural.org/2021/08/26/la-gestion-de-recursos-arqueologicos-en-la-localidad-de-cachi-salta-argentina/

Stek, T. D.
2016 Drones over Mediterranean landscapes. The potential of small UAV's (drones) for site detection and heritage management in archaeological survey projects: A case study from Le Pianelle in the Tappino Valley, Molise (Italy). *Journal of Cultural Heritage* 22: 1066-1071.

Stylianidis, E. y F. Remondino
2016 *3D Recording, Documentation and Management of Cultural Heritage*. Whittles Publishing, Dunbeath.

Tarragó, M. N., M. T. Carrara y P. P. Díaz
1978 Exploraciones arqueológicas en el sitio SsalCac 14 (Tero), Valle Calchaquí. *Antiquitas, Actas de las Jornadas de Arqueología del Noroeste Argentino* 2: 231-242.

Villar, F. A., S. Candelario y J. Díaz
2023 Drones, fotogrametría y sistemas de información geográfica. Algunos aportes a la arqueología de contextos industriales. *Comechingonia. Revista de Arqueología* 27(1): 35-50. https://doi.org/10.37603/2250.7728.v27.n1.38136

Wallis, K. y M. Ross
2020 *Fourth VR: Indigenous virtual reality practice. Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies* 27(2): 1-17. https://doi.org/10.1177/1354856520943083

Yanagi, H. y H. Chikatsu
2010 3D Modelling of small objects using macro lens in digital very close range photogrammetry. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38(5): 617-622.

Youmei, H., J. Minglian y X. Shijuan
2018 Researching on real 3d modeling constructed with the oblique photogrammetry and terrestrial photogrammetry. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 4(3): 97-103.

Anexo

https://revistas.unc.edu.ar/index.php/comechingonia/article/view/47205/51725