

Uso de tecnologías emergentes para el estudio cerámico

Jose Antonio Pacheco Almanza¹ y Mauricio Machicado Aruquipa²

Resumen

En los últimos años la incursión en las nuevas tecnologías para el tratamiento del patrimonio arqueológico y cultural ha ido ganando terreno, principalmente en nuestro medio la toma de datos en terreno con el uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), la Estación Total y la fotografía digital; y en el trabajo de laboratorio son pocos los casos de microscopios digitales y tecnologías geológicas para el análisis.

Existen, por otro lado, tecnologías aplicadas generalmente a la ingeniería, la arquitectura, las artes visuales y al desarrollo de video juegos, pero también son herramientas ventajosas para el estudio de la cerámica porque permiten potenciar la obtención de datos, resaltando sobre todo la difusión y presentación de los resultados, tanto a grupos académicos como al público en general.

En este texto se repasará brevemente el desarrollo de la Arqueología Virtual, las normas internacionales que rigen su quehacer, la definición de ciertos conceptos para comprender la temática en cuestión y finalmente se aplicará el uso de estas tecnologías emergentes a dos casos de estudio.

Palabras clave: Cerámica, Arqueología Virtual, Arqueología 3D, y Virtualización del Patrimonio

Condiciones de la Arqueología Virtual

El uso de tecnologías emergentes en el marco de la informática gráfica y la realidad virtual tiene cada día mayor fuerza en el campo de la arqueología y el patrimonio cultural. El avance de la tecnología permite modelar la información contenida en una imagen haciendo el uso de algoritmos y por su parte los modelos matemáticos logran expresar la forma, apariencia y movimiento de un objeto. La apariencia y el movimiento se encuentran en dos ramas de la física: la óptica y la mecánica; y la forma en la matemática, con el concurso de estas disciplinas se pueden manipular imágenes digitales, brindando

1 El autor es licenciado en Arqueología por la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Tiene una especialidad en Patrimonio y Arqueología Virtual de la Sociedad Española de Arqueología Virtual e Innova Archaeology International Network, y es egresado de la carrera de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Aquino Bolivia (UDABOL). Trabaja como consultor en ArqLine. Áreas de interés: Tecnología aplicada al patrimonio. Correo electrónico: josepacheco.arqueo@gmail.com.

2 El autor es egresado de Arqueología de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y estudiante de Artes Plásticas de la UMSA. También realizó estudios en virtualización de Patrimonio. Trabaja como consultor en ArqLine. Áreas de interés: reconstrucción y aproximación facial. Correo electrónico: maoricio88@gmail.com.

la posibilidad al campo del patrimonio arqueológico “el poder de observar lo que fue observado” (Barceló, 2014). El uso de las reconstrucciones virtuales de piezas cerámicas con el tiempo será indispensable para su estudio.

Cuando se describe el color de la pasta, la textura de un fragmento o pieza cerámica, por ejemplo: color naranja y superficie rugosa. Los lectores podrían interpretar de varias formas esta información, en cambio si a esta descripción añadimos una imagen, más si esta es tridimensionalidad, la información sería más precisa.

Los profesionales dedicados al estudio del patrimonio arqueológico e histórico se enfrentan al reto constante de explicar a la comunidad científica y al público en general: cómo es el objeto, la estructura o el sitio arqueológico de trabajo. El empleo de un modelo digital asistido por computadora se convierte en una herramienta esencial (Grande, 2014) para afrontar este reto.

La aplicación de las nuevas tecnológica ha permitido el desarrollo de instrumentos (software e ingeniería informática) para la representación gráfica, no solo de artefactos cerámicos, sino también del patrimonio en general (ver Cuadro 1).

Normas internacionales

Todo proyecto digital que aborde el patrimonio arqueológico debe cumplir la normativa internacional vigente, solo de esta forma su metodología será científica. A continuación, se presenta una revisión de la normativa internacional actual.

Carta de Londres

Busca establecer los requisitos necesarios para que la visualización 3D adquiera la robustez y el rigor intelectual equivalente a cualquier otro método científico de investigación, un borrador final fue publicado en 2009. Los principios de la carta indican de manera general el proceder científico para este tipo de investigaciones, haciendo hincapié en métodos, fuentes de investigación, documentación y acceso. Plantea velar el patrimonio cultural desde la etapa inicial de la investigación hasta la difusión de los resultados.

Los Principios de Sevilla

Fueron planteados el 2010 con el objetivo de normar la virtualización del patrimonio arqueológico. Los principios son específicos para el tratamiento digital: interdisciplinarietà, finalidad, complementariedad, autenticidad, rigurosidad histórica, eficiencia, transparencia científica, formación y evaluación (Principios de Sevilla, 2010). Todo proyecto, enmarcado en el campo de la Arqueología Virtual, debe aplicar estos principios, si busca alcanzar un carácter científico.

Definiciones

Para una mejor comprensión de los casos que se presentarán en breve, es prudente realizar algunas definiciones de las herramientas empleadas en la digitalización de la cerámica.

Arqueología Virtual

Es una forma de hacer Arqueología, utiliza técnicas de visualización asistida por un ordenador para la gestión integral del patrimonio arqueológico. Se basa en la tecnología aplicada a la percepción por ello pone énfasis en su cuantificación, considera medidas topológicas (vértices, caras) así como la composición material y la apariencia visual. Todos estos elementos se procesan de manera integrada y explícitamente objetiva (Barceló, 2014).

Informática gráfica

Es una herramienta que la computadora emplea junto a la tecnología de la información y la comunicación para crear, memorizar y manipular de forma automática gráficos, imágenes reales e imágenes sintéticas. La informática gráfica permite al usuario la producción de una imagen sintética (Serón, 2014).

Realidad virtual

Es el paradigma de interacción entre el hombre, un entorno sintético y el ordenador, hace uso de los canales sensoriales del ser humano, el objetivo es sumergir al usuario en un ambiente indistinguible de la realidad (Serón, 2014), para ello toma datos del mundo físico y lo sustituye por entradas y salidas de información que perciben nuestros sentidos (Grande, 2014). Se constituye en una poderosa herramienta científica, una novedosa forma de diversión, un extraordinario vehículo de información/comunicación y un estimulante medio de expresión artística (Serón, 2014; Serón, 2014b; Flores et al., 2014).

Aplicaciones y potencial

El estudio de la cerámica requiere de una toma de datos extensa, después de rigurosos análisis estos brindaran aspectos de cronología, filiación cultural, tecnología, expresión artística, concepciones culturales y más sobre las sociedades pasadas. Las nuevas tecnologías proporcionan una variedad de posibilidades a la arqueología, por ejemplo, la creación de modelos tridimensionales asistidos por computadora en el marco patrimonial arqueológico. Torres y Cano (2014) indican algunas potencialidades y se podrían resumir en:

- Documento gráfico. Constituye un detallado gráfico tridimensional que permite conocer como era un bien arqueológico.
- Difusión. Los modelos 3D pueden servir para visitas virtuales que faciliten el conocimiento del patrimonio, cuando el original es de difícil o peligroso acceso, o cuando las condiciones de la exposición lo deterioran. Efectivamente, es un medio ideal para promocionar el patrimonio.
- Modelo arqueológico. Posibilita completar el modelo con elementos no existentes en el original ni en la actualidad.
- Paseos virtuales. El modelo 3D puede ser visualizado a través de internet, ofreciendo una difusión y acceso global.
- Maquetación. La impresión 3D realiza copias a escala o tamaño real del bien arqueológico.
- Análisis. Permite disponer de información detallada del modelo.

- Restauración. La digitalización resulta útil como registro de la evolución del bien arqueológico, ofrece la posibilidad de analizar los cambios en el objeto real.
- Soporte documental. Con esta herramienta se gestiona una gran cantidad de información.

En suma, el uso de esta tecnología garantiza: poca intervención en el material cerámico, mayor precisión en la toma de datos, bajo costo, cómodo flujo de información en redes sociales o páginas web y el manejo de cualidades pedagógicas para revalorizar el patrimonio y la historia.

Tecnología en la investigación cerámica

El compromiso que los arqueólogos tienen con el estudio de la cerámica es predilecto porque hay restos cerámicos en casi todos los sitios, y además son marcadores de cronología y filiación cultura. Por tanto, es importante el análisis de toda la información que proporciona la cerámica, sea que fueren datos de las formas, técnicas de fabricación, materias primas o la decoración. El análisis y consideración de estos elementos debe ser preciso y riguroso por más pequeño que sea el tiesto (Bagogt, 2005).

Particularmente, para el estudio de la cerámica arqueológica el desarrollo de softwares para la edición de modelos 3D avanzó, considerablemente, desde la década pasada, esto permite el almacenaje de modelos matemáticos precisos en formato digital. Es importante aclarar que los modelos obtenidos deben ser considerados como herramientas estándar de análisis cerámico, ya que permiten recopilar las formas cerámicas en formato digital, agilizando el proceso de dibujo y facilitando la elaboración de infografías de alta calidad (Martínez et al., 2011).

Las nuevas técnicas de digitalización del patrimonio facilitan la toma de datos convirtiéndola en una labor precisa y limpia, reduciendo el margen de error, además que los datos digitales generados son reutilizables.

En el caso de cerámicas completas además de tomar un modelo preciso de la pieza, se puede usar estas herramientas para obtener: dibujos 2D, identificar con exactitud la forma y disposición del corte de las paredes. Por lo general, se considera que las vasijas son totalmente simétricas, pero si se recolecta los datos minuciosamente se observará las irregularidades, también facilita el desdoblamiento de las iconografías, sin distorsionar las formas.

Los constantes avances que se producen en el campo de la informática gráfica y de las nuevas tecnologías en general, han propiciado la incorporación de nuevos métodos de documentación, conservación y difusión al ámbito de la Arqueología y el patrimonio en general (Rubio et al., 2010).

La mayoría de las investigaciones ceramológicas emplea el dibujo técnico como herramienta fundamental para el estudio y conocimiento de las piezas recuperadas, lo cual aporta una realidad en dos dimensiones; en cambio las nuevas tecnologías brindan la oportunidad de conocer la pieza en tercera dimensión. En el mundo arqueológico, laboratorios de numerosas universidades, empresas especializadas y otros cuentan con este

estudio integrales en 3D de la cultura material (Delgado, 2010; Melero et al., 2011). Las reconstrucciones tridimensionales de los artefactos cerámicos no se reducen a gráficos bien elaborados, sino que son el resultado de una investigación al igual que cualquier otro proyecto en arqueología, por ello están consideradas como un aporte científico para el entendimiento del pasado.

Además, las reconstrucciones contribuyen a una mayor y correcta comprensión del objeto de estudio por parte del público en general que no cuenta con una especialidad en cerámica prehispánica, así la arqueología acercaría a la sociedad la cultura material recuperada en diferentes sitios³ (Delgado, 2010). En esta línea, Ortiz (2012) propone la creación de un museo hiperrealista que explote el potencial de la digitalización para la catalogación, restauración y difusión de los bienes materiales.

Conservación digital de la cerámica

El patrimonio arqueológico alberga valiosa información cultural que debe ser preservada para garantizar su difusión y la investigación continua. Las tecnologías digitales y la realidad virtual ofrecen nuevas formas de captura y análisis de la información, así se preserva el objeto y se puede tomar decisiones para intervenir sobre ellos si este fuera el caso (Farjas y Uriarte, 2014).

La digitalización de la cerámica arqueológica ofrece varias posibilidades a los arqueólogos, por ejemplo: la réplica de un modelo digital del objeto físico, realizar el seguimiento y evaluación de los cambios en los objetos y espacios físicos y plantear las simulaciones de objetos posibles (Farjas y Uriarte, 2014), en suma, las tecnologías digitales no son invasivas y contribuyen a una mayor protección y preservación del patrimonio, como bien indica Grande (2014) con este avance ya no serán necesarias las inapropiadas reconstrucciones o restituciones físicas integrales. En cambio, las prácticas de conservación convencionales tienen carácter invasivo, por ello la realidad virtual poco a poco se perfila como una alternativa.

Conservación virtual

Es una intervención destinada en primer lugar a preservar el bien cultural a través de su digitalización; y en segundo lugar, aporta al conocimiento material y documental de la obra para su conservación física.

3 Existen varios ejemplos del uso de la tecnología en reconstrucción de piezas provenientes de sitios arqueológicos, por ejemplo: en Delgado (2010) y Serrano et al. (2013) se observa las reconstrucciones de cerámicas en contextos romanos, exactamente de la cerámica denominada *Terra Sigillata*; otro estudio relacionado es el de Rubio et al. (2010) en cerámicas campaniformes del yacimiento Calcolítico de “El Camino de las Yeseras”; un caso de arqueología urbana se encuentra en Arcifa et al. (2011), ahí se demuestra la utilidad de la digitalización de las piezas para conservar su estado.

Por su parte, Martínez et al. (2011) plantea una metodología para la reconstrucción tridimensional de la cerámica; Arroyo et al. (2011) también presentó una forma automática para realizar el dibujo punteado de cerámica, gracias al empleo de un software, finalmente, Vendrell y Sánchez (2012) realizaron la reconstrucción automática de piezas cerámicas a partir de la correspondencia de patrones, mediante el empleo de una herramienta de la informática gráfica.

Restauración virtual

Este proceso de reordenación parte de un modelo virtual, es decir, desde los modelos materiales existentes (tiestos), el objetivo es recuperar visualmente la forma que se estudia a través de la ejecución de la hipótesis virtual arqueológica.

Anastilosis virtual

Recomposición de las partes existentes (fragmentos cerámicos), desmembradas en un modelo virtual, esta labor concluye con la ejecución de la hipótesis virtual arqueológica.

Metodología para la aplicación de la Arqueología Virtual en dos casos

La propuesta de reconstrucción tridimensional (**Caso 1.** Cerámica Tiwanaku y **Caso 2.** Cerámica Iruhito) que aquí se plantea considera el estado de las piezas, esto es muy importante porque en la labor arqueológica es común hallar objetos incompletos por distintos factores naturales o antrópicos. A través de los modelos en 3D se podrá visualizar estos objetos de manera íntegra.

En la reconstrucción de una figura tridimensional, la pieza cerámica es en todo momento protagonista por ello se debe considerar toda la información disponible (Ruiz y Martínez, 2005). Reunidos los datos, recién se emplean los siguientes softwares: Adobe Illustrator para el dibujo vectorial de los perfiles; Blender y 3D Max Studio para el modelado 3D de las piezas (cuerpos, asas y decoración plástica) y el renderizado final y el Adobe Photoshop para la creación de las piezas y sus texturas.

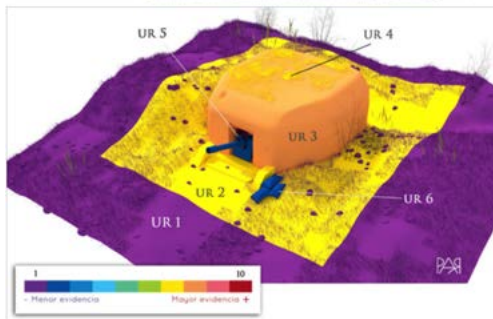
Para la reconstrucción de los casos que se presentarán en breve, se tomó como ejemplo la propuesta de restauración tridimensional de Ruíz y Martínez (2005), también se consideró el uso de las Unidades Reconstructivas (UR), cuyo fin es representar de manera gráfica, la autenticidad de la reconstrucción virtual gracias a la evidencia arqueológica, donde un tono más cálido implica un nivel de evidencia más fuerte, mientras que tonos más fríos indican un nivel de evidencia menor (Aparicio, 2014), por tanto, las UR cumplen la función de revelar el grado de evidencia arqueológica (Ver figura 1).

La metodología empleada integra dos herramientas: las informáticas (Adobe Illustrator, Adobe Photoshop, 3DMax Studio, Blender, etc.) para elaborar complejos modelos tridimensionales y las Unidades Reconstructivas (UR) que permiten documentar, organizar, representar y mostrar la investigación arqueológica. Los datos de la UR, también son empleados en el tradicional análisis funcional para dibujos en 2D.

A continuación, se indica un conjunto de UR de ambos casos (**Caso 1.** Cerámica Tiwanaku y **Caso 2.** Cerámica Iruhito) organizadas desde el registro de la pieza a reconstruir hasta el modelado final con sus particularidades, el conjunto es de carácter general, sin embargo son aplicables a cualquier tipo de cerámicas. Según el caso de estudio se incluirán otras UR.



Figura 1: Reconstrucción virtual del Bunker H669 y escala de evidencia histórico arqueológica
Fuente: Extraído de Aparicio (2014: 3)



UR 1: Fotografía de los fragmentos

Las fotografías se tomaron en un ambiente con iluminación controlada para evitar registrar sombras. La distancia aproximada entre el lente y la pieza fue de 30 cm, todas las fotografías incluyen una escala IFRAO a colores de 10 cm, para que al momento de la reconstrucción se pueda mantener la relación del tamaño.

Dependiendo del fragmento las fotos corresponden a distintas posiciones. Para el caso de bordes y bases se debe tomar tres fotografías de distintos ángulos: cara exterior, corte de perfil y vista superior / vista inferior (Figura 2 a y 2 b).



Figura 2a: Fotografía pieza 4-2/002 borde, cara interior

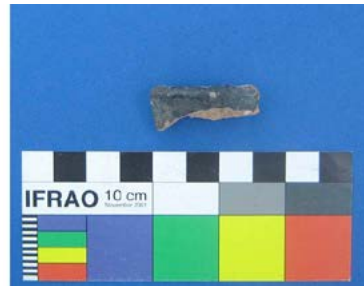


Figura 2b: Fotografía pieza 4-2/002 borde, cara exterior

Para los fragmentos con decoración en el cuerpo se tomaron dos fotografías: cara exterior y cara interior (Figura 3). En el caso de las asas, las fotografías registradas son: cara exterior y corte de perfil (Figura 4). Para los cuerpos sin decoración, se tomaron dos fotografías: cara exterior y cara interior (Figura 5).



Figura 3a: Fotografía pieza 5-1/446 cuerpo, cara interior



Figura 3b: Fotografía pieza 5-1/446 cuerpo, cara exterior



Figura 3c: Fotografía pieza 5-1/446, cuerpo vista superior



Figura 4a: Fotografía pieza 5-1/913, asa cara exterior



Figura 4b: Fotografía pieza 5-1/913, asa corte de perfil



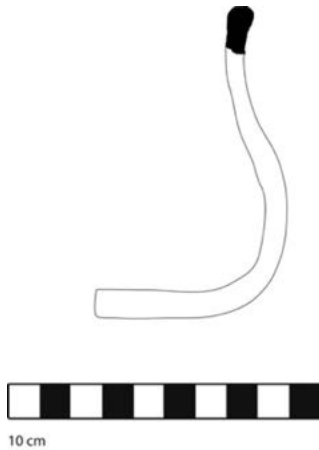
Figura 5a: Fotografía pieza 4-2/034, cuerpo cara interior



Figura 5b: Fotografía pieza 4-2/034, cuerpo cara exterior

Mediante esta UR se obtuvo las formas precisas de los fragmentos cerámicos, de este paso depende la reconstrucción de las piezas.

UR 2: Dibujo del perfil



Las fotografías se exportaron al programa de Adobe Illustrator, ahí se elaboró una imagen vectorial, para el dibujo de los perfiles se consideró los bordes, bases y algún tiesto que dadas sus características permita apreciar la curvatura de la vasija (Figura 6). Debido a los contextos, no se encuentran vasijas completas, por tanto, al momento de dibujar el perfil de un borde o una base, se procede a realizar la proyección ideal del perfil completo, pero guardando siempre relación con el diámetro tomado en el análisis formal. La parte del perfil real se encuentra rellena de color negro, mientras que la reconstrucción ideal se encuentra con líneas delgadas.

Figura 6: Reconstrucción perfil, pieza 4-2/002, perfil completo
Fuente: Elaboración propia

El dibujo digital se realizó directamente sobre la fotografía, esto permite tener una cercanía considerable con un mínimo margen de error. Siempre y cuando la fotografía haya sido tomada adecuadamente, es decir, lo más paralela a la pieza y con una perspectiva que no distorsione la forma del objeto, a este tipo de enfoque se denomina vista ortogonal. En esta UR se puede realizar la reconstrucción del perfil en su totalidad, esto ayudará a elaborar la forma final de la pieza cerámica.

UR 3: Morfología de la vasija

El dibujo completo del perfil de la vasija se exportó a Autodesk 3DMax Studio, también se puede emplear otra herramienta como Blender, para modelar la vasija en su totalidad. El perfil se exportó junto con la escala IFRAO así se garantizó la relación de tamaño. Con este software, se procedió al modelado en 3D; debido a la funcionalidad, complejidad y versatilidad de este tipo de programas informáticos, esta labor se la puede realizar de distintas formas; para los fines de esta propuesta se optó justamente por la reconstrucción a partir del dibujo vectorial (Figura 6).

UR 4: Reconstrucción de asas

Cuando las vasijas cuentan con asa, se procede al modelado 3D del fragmento, y posteriormente se lo adhiere a la pieza en cuestión, este proceso se realiza en Autodesk 3DMax Studio o Blender, a través de dos maneras: la primera de ellas, si se cuenta con la fotografía se trabaja sobre ella hasta culminar la forma, la segunda, sino se cuenta dentro del conjunto con ninguna asa, se puede recurrir a estudios comparativos para determinar la forma.

Esta UR varía según el grado de evidencia, si el fragmento dentro del conjunto está disponible, lógicamente el nivel de evidencia es alto; y si no se cuenta con el fragmento entonces el grado variará y dependerá de los estudios que se tengan sobre el tipo de cerámica estudiado.

UR 5: Decoración plástica

Existen piezas de morfología compleja con decoraciones plástica zoomorfas, antropomorfas o una combinación de ambas y otros. En estas piezas que no son tan simétricas en su morfología, el proceso de modelado debe partir del registro fotográfico o del dibujo de perfil. Este procedimiento se aplicó al **Caso 1** Cerámica Tiwanaku (Figuras 7, 8 y 9), sobre los dibujos 2D de la tipología cerámica de Janusek (2003) se realizó el modelado 3D.

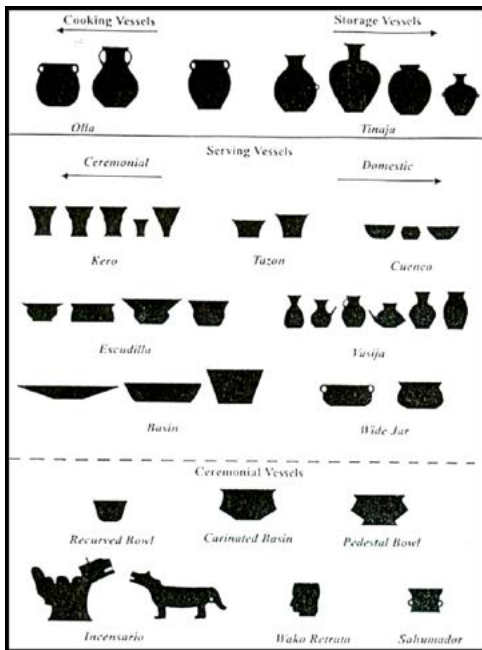


Figura 7: Tipología de la cerámica Tiwanaku
Fuente: Extraído de Janusek (2003:57)

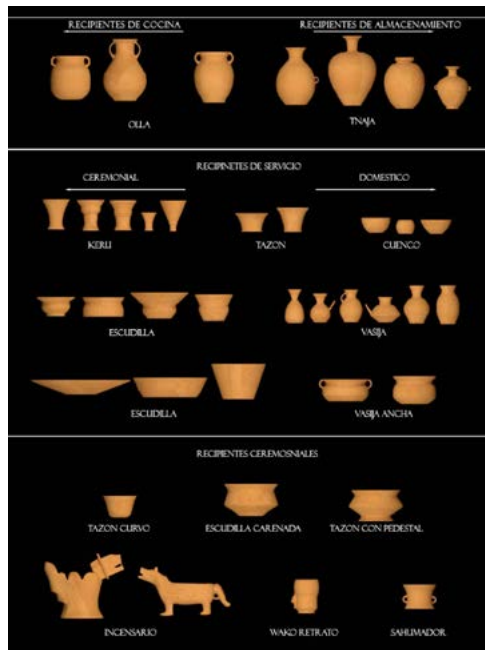


Figura 8: Reconstrucción tridimensional de la tipología cerámica Tiwanaku
Fuente: Elaboración propia con base en Janusek (2003:57)



Figura 9: Reconstrucción tridimensional de la tipología cerámica Tiwanaku
Fuente: Elaboración propia

UR 6: Color y textura

Para la definición de las texturas se usó la información tomada en el primer punto (fotografía de fragmentos), el tratamiento se lo realizó en Adobe Photoshop, esto permitió darle apariencia y color realista a los objetos. La textura no hace referencia a la pasta, en esta UR se da la apariencia visual a la vasija, a su cara interior y exterior (Figuras 10 y 11).

La textura puede variar en ambas caras, ya que distintos factores (técnicas de modelado, de acabado, de engobe, etc.) producen apariencias visuales diferentes; si ese fuera el caso se consigue mostrar las diferencias, creando por separado ambas texturas y luego integrándolas al modelo 3D.



Figura 10: Reconstrucción perfil, malla y textura
Fuente: Elaboración propia



Figura 11: Reconstrucción pieza con corte de perfil
Fuente: Elaboración propia

UR 7: Decoración pictórica

En esta etapa, se introdujo la iconografía (Figura 13c) previo tratamiento en Adobe Photoshop, se trabajó sobre la fotografía, elaborando un mapa sobre la forma 3D de la vasija en cuestión.

Renderizado

La etapa final es el renderizado de la vasija modelada, se puede exportar el producto final en un formato de imagen estática (jpg, jpeg, bmp, etc.) o en un formato de video renderizado (wmv, mp4, etc.)

Casos de estudio

Caso 1. Cerámica Tiwanaku: Aplicación de la Arqueología Virtual para la presentación y difusión

En este caso se observa las ventajas de la Arqueología Virtual en la presentación de resultados. El investigador Janusek (2003) caracterizó las distintas formas cerámicas del período IV y V de Tiwanaku y las agrupó en vasijas de cocina y almacenamiento, vasijas de servicio y vasijas ceremoniales, este planteamiento fue expresado en dibujos 2D y descripciones detalladas (Figura 7). Sin embargo una presentación en 3D (Figuras 8 y 9) ofrece una idea más completa de las piezas cerámicas.

Es importante destacar que en esta propuesta no se presenta el grado de evidencia a través de las Unidades Reconstructivas, porque el objetivo primordial es demostrar el potencial de las reconstrucciones tridimensionales y como a partir de los dibujos 2D podemos obtener formas 3D que pueden ser utilizadas en distintos materiales educativos, académicos e investigativos (Figura 9), ya que son aptas para varios formatos de difusión: infografías, pdf3d, visores 3D, paseos virtuales, museos virtuales, páginas web y otros.

Caso 2. Cerámica de Iruhito: la investigación dentro la Arqueología Virtual

Las tecnologías emergentes también son aplicables para realizar modelos 3D de piezas cerámicas partiendo de pedazos. En este caso se tomó fragmentos cerámicos del proyecto arqueológico Jacha Machaca Iruhito (2006) y se reconstruyó dos piezas, a continuación se desglosa el proceso.

Jarra Formativo Medio

UR 1, digitalización del fragmento: Tiesto hallado en el sector de la rivera en la unidad 4.2. Corresponde al borde de una jarra de color café, con acabado interior y exterior pulido y borde de diámetro de 14 cm.

UR 2, reconstrucción de la morfología: Se basó la reconstrucción de la forma (perfil) de la jarra, en una vasija de estructura simple simétrica, cerrada, con cuello. Cuyo diámetro máximo es de 20 cm, la boca de 14 y la base de 8 cm. El cuerpo es globular y la base plana, la textura y color se determinaron desde la UR 1. Se estableció estas características desde los análisis comparativos de piezas similares encontradas en el sitio (Pérez, 2006), así se definió, también, la inclusión de un asa lateral.

UR 3, reconstrucción del asa: Compuesta por un asa dispuesta verticalmente que parte de la boca de la jarra y se prolonga hasta la parte inferior del cuello, de corte ovalado, la textura y color de igual forma se establecieron a partir de la UR 1. La inclusión de este elemento está fundamentado en el análisis comparativo de piezas similares (Pérez, 2006).

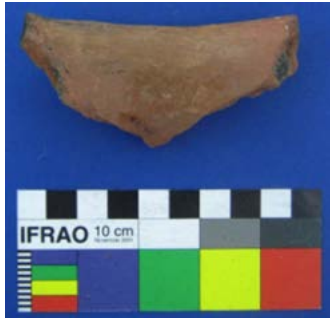


Figura 12a: Tiesto jarra Formativo Medio, sector rivera Iruhito



Figura 12b: Reconstrucción tridimensional de jarra del período Formativo Medio exponiendo el grado de evidencia arqueológica
Fuente: Elaboración propia



Figura 12c: Reconstrucción tridimensional de Jarra del período Formativo Medio
Fuente: Elaboración propia

Cuenco Pacajes

UR 1, digitalización del fragmento: Se digitalizó el tiesto hallado en el sector de la rivera en la unidad 4.2. Corresponde al borde de un cuenco de filiación Pacajes, hallado en el nivel 1, con acabado interior y exterior a espátula, con engobe café y el borde de 16 cm de diámetro, tiene decoración pictórica en color negro los motivos son zoomorfos, posiblemente camélidos.

UR 2, reconstrucción de la morfología: Con los datos de la UR 1 se obtuvo la reconstrucción del perfil del cuenco y dio como resultado una vasija abierta con las paredes levemente divergentes y cuyo diámetro de la boca es de 16 cm, la altura es de 6.8 cm, el diámetro máximo de 17.2, de base plana. Se determinó esta forma con base en investigaciones realizadas por Pérez (2006) en el proyecto Jacha Machaca. La textura y color fueron dictadas por la UR 2. No se procedió a la restauración de los motivos pictóricos por falta de datos y características de la pieza.



Figura 13a: Tiesto Cuenco Pacajes, sector rivera Iruhito
Fuente: Elaboración propia

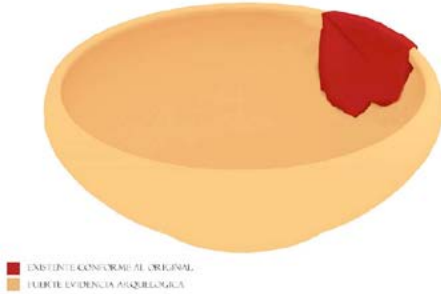


Figura 13 b: Reconstrucción tridimensional de cuenco Pacajes exponiendo el grado de evidencia arqueológica
Fuente: Elaboración propia



Figura 13 c: Reconstrucción Tridimensional de cuenco Pacajes
Fuente: Elaboración propia

En los contextos arqueológicos de Iruhito es común hallar piezas completas y semicompletas, en estos casos la Arqueología Virtual aporta elementos para la investigación y documentación, esto es posible porque se pueden elaborar tipologías cerámicas de cada sitio y luego se crean colecciones de referencia que facilitarán la elaboración de estudios comparativos entre la cerámica del mismo período pero procedente de distintos sitios, suministrando así el manejo de variables tales como similitudes, diferencias, variaciones estilísticas, etc., factores apreciados por medio de la morfología completa de las piezas.

Existe otra ventaja más de las aplicaciones tecnológicas, los softwares como el 3DMax Studio y Blender, al ser motores 3D, tienen herramientas “físicas” y “partículas” que permiten hacer simulaciones de fuerzas, colisiones, resistencia, etc. No es el objetivo del presente estudio, pero a futuro se podría analizar la resistencia de las piezas cerámicas, comparando y experimentando la aplicación de fuerzas; también desde los modelos 3D de piezas cerámicas se pueden hacer experimentos con volúmenes, ya que el sistema de “partículas” lo posibilita.

Aplicación de las normas internacionales

En coherencia con la normativa vigente, la propuesta de reconstrucción tridimensional en ambos casos incorpora todos los principios en la metodología, aunque es propicio resaltar algunos puntos: el primero tiene que ver con la toma de datos, esta labor no se limitó al análisis específico de las piezas por el contrario se amplió a la revisión minuciosa de bibliografía para contextualizar los datos y así dotar de rigurosidad histórica a los resultados obtenidos.

Un segundo punto es que las reconstrucciones tridimensionales realizadas en ambos casos no solo permiten una presentación visualmente agradable, además posibilitan la creación de tipologías y a partir de ellas realizar estudios comparativos futuros.

Conclusiones

El tratamiento de los casos y el texto en general comparten con Rubio et al. (2010) la convicción de que el uso de estas nuevas herramientas debe concebirse no como una solución *per se*, sino como un medio para explotar al máximo el potencial informativo que posee el registro arqueológico. De este modo, se mejoran los objetivos de investigación, empleando las reconstrucciones tridimensionales como medio y no como fin.

La elaboración de modelos digitales de piezas cerámicas arqueológicas apoyará al avance en la metodología de dibujo y visualización de la cultura material. La comprensión de artefactos en 3D es esencial para la disciplina de la arqueología, puesto que su labor se basa en gran parte en la visualización de objetos (Martínez et al., 2011). Estas reconstrucciones, así mismo, pueden emplearse como colecciones de referencia para crear una gran base de datos de colecciones cerámicas de distintas procedencias.

En este sentido, los casos de estudio que se desarrollaron tienen el objetivo de ofrecer nuevas alternativas gráficas sutiles para comprender y analizar el registro arqueológico de un modo más integral porque colabora no solo con la investigación, sino también aporta a la conservación y difusión del patrimonio arqueológico.

Al constituirse la arqueología como el estudio del pasado a través de los restos materiales y comprendiendo que todo patrimonio cultural, en este caso el arqueológico, no pertenece únicamente a los especialistas sino a la humanidad, su conocimiento debe ser accesible a la sociedad, es decir, no es prudente generar conocimiento para un círculo académico, por el contrario la meta de la arqueología debe apuntar hacia la sociedad, es aquí donde el lenguaje visual con su carácter universal permite a los investigadores explicar los frutos de sus investigaciones.

Asimismo, es importante que estas herramientas sean progresivamente empleadas por los investigadores porque solo desde la práctica se podrá desarrollar modificaciones y avances.

Anexos

CUADRO 1
DESARROLLO DE LA ARQUEOLOGÍA VIRTUAL

Año	Denominación	Eventos importantes
1970 - 1980	Germinal	Se crean instituciones para el registro de monumentos, además de ello se llevan a cabo los primeros congresos sobre la aplicación de la computadora en arqueología.
1980 - 1990	Génesis	Primeros ensayos de arqueología virtual con modelos tridimensionales: la catedral vieja de Winchester y el templo de Sulis Minerva en la ciudad de Bath.
1990 - 2000	Experimentación	Surge Itálica Virtual y Rome Reborn, que son reconstrucciones virtuales de ciudades enteras.
2000 - 2010	Consolidación	Se crea la “Carta ICOMOS para Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural” y la Carta de Londres que es específica para la visualización del patrimonio cultural.
2010 - 2012	Normalización	Se elaboran los Principios de Sevilla, marcan un antes y un después en la Arqueología Virtual como disciplina normalizada.

Fuente: Elaboración propia con base en Grande 2014.

Bibliografía

APARICIO Resco, Pablo. 2014. Construyendo ciencia: la estandarización de protocolos en las reconstrucciones virtuales. *Tecnologías de representación gráfica del patrimonio*.

ARCIFA, D.; CALI D.; PATANE, A.; STANCO, F.; TANASA, D. y TRUPPIA, L.2011. Laser scanning e 3D Modellingnell archeologia urbana: lo scavodellachiesa di Sant' Agata al Carcere a Catania (Italia). *Virtual Archaeology Review*, Volumen 1, Número 2. Sevilla, España.

ARROYO, German; MARTÍN, Domingo y LUZÓN, María Victoria. 2011. Generation of automatic stippling illustrations from photographs for documenting archaeological pieces. *Virtual Archaeology Review*, Volúmen 3, Número 3. Sevilla, España.

BALFET, H., FAUVET, Berthelot y S. Monzon. 1992. Normas para la descripción de vasijas cerámicas. CEMCA, México.

BAGOT, Françoise. 2005. El Dibujo Arqueológico: La cerámica. Normas para la presentación de las formas y decoraciones de las vasijas. Instituto Francés de Estudios Andinos.

BARCELO, Juan Antonio. S/f. ¿Debemos automatizar el razonamiento arqueológico? Universitat Autònoma de Barcelona. Departamento Historia de Sociedades Precapitalistas y Antropología Social.

_____ 2001. Técnicas de inteligencia artificial en arqueología. Su uso en el estudio de las formas de Interacción Social durante la Edad de Bronces”. División de Prehistoria, Universitat Autònoma de Barcelona.

_____ 2014. Manual de técnicas de inteligencia artificial para el análisis de modelos virtuales de realidades arqueológicas”. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

DELGADO Aguilar, Salvador. 2010. Restituciones virtuales de la vajilla de mesa romana (Terra Siguillata). *Virtual Archaeology Review*, Volumen 1, Número 1. Sevilla, España.

FINAT Codes, Francisco Javier y MARTÍNEZ Rubio, José. 2014. Documentación e Investigación. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

FARJAS, Mercedes y URIARTE, Antonio. 2014. Conservación y Preservación. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

FLORES Gutiérrez, Mariano. 2014. Visualización 3D del Patrimonio. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

FLORES Gonzales, Julián; OTERO Franco, Antonio; HERNÁNDEZ Ibáñez, Antonio. 2014. Realidad Virtual y Patrimonio Cultural. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

GUTIÉRREZ, Diego y HERNÁNDEZ, Luis A. s/f .Potencial de la realidad virtual en el ámbito del Patrimonio.

GRANDE León, Alfredo.

_____ 2014. Arqueología y patrimonio en la era digital. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

_____ 2014 b. Reconstrucción y Anastilosis Virtual. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

HERNÁNDEZ Ibáñez, Luis Antonio; BARNECHE Naya, Viviana y MIHURA López, Roció. 2014. Presentación y Difusión, Museos. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

JANUSEK, John. 2003. Vessels, time and society: toward a chronology of ceramic style in the Tiwanaku. En: Heartland Archaeological and Paleoecological Investigations of an Andean Civilization, Vol 2 Editado por Alan Kolata 129-167 pág. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.

LERMA García, José Luis. 2014. Técnicas Avanzadas de Documentación Gráfica del Patrimonio. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

MARTÍNEZ Carrillo, Ana; RUIZ Rodríguez, Arturo y RUBIO Paramio, Miguel Ángel. 2011. Digitalización y visualización 3D de cerámica arqueológica. Virtual Archaeology Review, Volumen 1, Número 2. Sevilla, España.

MELERO, Javier; LEÓN, Alejandro y TORRES, Juan Carlos. 2011. Digitalización y reconstrucción de elementos cerámicos arqueológicos de torno. Virtual Archaeology Review, Volumen 1, Número 2. Sevilla, España.

ORTIZ Coder, Pedro. 2012. Museo Virtual Hiperrealista. Virtual Archaeology Review, Volumen 3, Número 7. Sevilla, España.

PÉREZ Martínez, Francisco Javier. 2011. Presente y futuro de la tecnología de Realidad Virtual. Revista Creatividad y Sociedad, España.

PUJOL, Laia. 2004. Archaeology, museums and virtual reality". Revista Digital d'Humanitats, Nº 6.

RUBIO Gil, Daniel; MARTÍNEZ Rubio, José; BAENA Preysler, Javier; FERNÁNDEZ Martin, Juan José y FINAT Codes, Javier. 2010. Nuevos métodos para viejas tecnologías: análisis y documentación de los materiales arqueológicos mediante la aplicación de sistemas Láser-scanner 3D. Virtual Archaeology Review, Volumen 1, Número 1. Sevilla, España.

SERRANO Arnaez, Begoña; FERNÁNDEZ García, Isabel y ESQUIVEL Guerrero, José Antonio. 2013. Hacia una reconstrucción tridimensional de la terra sigillata hispánica decorada y los moldes del alfar Los Villares de Andújar (Jaén). Virtual Archaeology Review, Volumen 4, Número 9. Sevilla, España.

SERON Arbeloa, Francisco José. 2014. Realidad Virtual Aumentada. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

_____ 2014b. El por qué y el cómo de la arqueología virtual. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

TORRES Cantero, Juan Carlos y CANO Olivares, Pedro. 2014. Digitalización 3D. Sociedad Española de Arqueología Virtual.

VENDRELL Vidal, Eduardo y SÁNCHEZ Belenguer, Carlos. 2012. Reconstrucción de fragmentos arqueológicos mediante correspondencia de patrones. Virtual Archaeology Review, Volumen 3, Número 3. Sevilla, España.