

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**RECONSTRUCCIÓN 3D DE PIEZAS ARQUEOLÓGICAS A PARTIR
DE IMÁGENES: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL
GRADO DE BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA INFORMÁTICA**

AUTOR

CARRANZA COBEÑAS, LUIS ALBERTO

ASESOR:

SIPIRAN MENDOZA, IVÁN ANSELMO

Lima, Julio, 2020

Resumen

Los objetos arqueológicos son típicamente expuestos a efectos climatológicos, erosión y estrés físico, lo cual daña tanto parcialmente como de manera desigual sus superficies. Debido a estas condiciones, sus zonas fracturadas tienden a abrir paso a más interpretaciones, mayor ambigüedad y a veces vuelve imposible determinar su forma exacta para su reconstrucción. En la actualidad, existen esfuerzos para mejorar esta reconstrucción mediante el uso de herramientas computacionales, tales como métodos simétricos de reconstrucción; sin embargo, la mayoría de estos esfuerzos asumen que estos objetos hechos por el hombre guardan algún tipo de estructura y regularidad, por lo que se basan en métodos geométricos y simétricos complejos que limitan la reparación de las piezas arqueológicas.



Tabla de Contenido

2.1	REVISIÓN SISTEMÁTICA	7
2.1.1	<i>Preguntas de Investigación</i>	7
2.1.2	<i>Proceso de Búsqueda</i>	7
2.1.3	<i>Criterios de Inclusión y Exclusión</i>	8
2.1.4	<i>Datos Extraídos</i>	9
2.1.5	<i>Datos Analizados</i>	9
2.2	RESULTADOS.....	10
2.2.1	<i>Resultados de Búsqueda</i>	10
2.3	DISCUSIÓN	17
2.3.1	<i>¿Cuáles son los métodos simétricos más relevantes en la reconstrucción 3D de piezas arqueológicas?</i>	17
2.3.2	<i>¿Cuáles son los métodos orientados a datos más relevantes en la reconstrucción 3D que pueden ser enfocados a la reconstrucción 3D de piezas arqueológicas?</i>	17
2.4	REVISIÓN DE TESIS	18
2.4.1	<i>Desarrollo de herramienta de visualización para la reparación de piezas arqueológicas basado en su simetría (Toribio Ossio, 2018)</i>	18
2.4.2	<i>Registro de una secuencia temporal de nubes de puntos utilizando tecnología Kinect para la reconstrucción tridimensional de material arqueológico (Quintana Rosales, 2008)</i>	18
3	Conclusiones	19
4	Referencias	20

Índice de Figuras

Figura 1. Finalización iterativa de un objeto de patrimonio cultura parcialmente ensamblado usando el algoritmo propuesto. Este método ha detectado apropiadamente la simetría rotacional discreta subyacente y llena progresivamente las partes faltantes, hasta que el método converge (Mavridis et al., 2015).	11
Figura 2. Reconstrucción de perfil de tres fragmentos reales extraídos durante excavaciones arqueológicas. (a) Modelo de malla 3D de los fragmentos. (b) Reconstrucción de perfil (línea azul) de los tres fragmentos (línea roja) usando una base de datos de la paica más similar (línea discontinua negra). (c) Modelos de malla 3D de recipientes completos generados al rotar los perfiles en (b) alrededor de su eje de simetría.	12
Figura 3. De izquierda a derecha: objetos completos, objetos con fracturas simuladas, reconstrucción con ORGAN, segunda reconstrucción con ORGAN (Hermoza & Sipiran, 2017).	14
Figura 4. El método 3D-RecGAN++ reconstruye completamente una forma 3D a partir de una única vista de profundidad 2.5D (Yang et al., 2018).	14
Figura 5. Ejemplo de finalización de forma con el método propuesto (Dai et al., 2017).	15
Figura 6. La finalización volumétrica. (a) Ilustración. (b) (Dato de entrada) La proyección 3D de la imagen profunda, capturada desde la perspectiva de la flecha roja, donde las oclusiones inducen largos espacios vacíos. (c) Realidad de la ocupación capturada usando KinectFusion con múltiples vistas. (d) (Datos de salida) El algoritmo Voxlets produce una finalización plausible de la geometría ocluída.	16
Figura 7. Los resultados de fusión de profundidad usando cuatro vistas uniformemente espaciadas alrededor del objeto. (a) El enfoque propuesto aprende de grandes repositorios 3D y mejora significativamente los resultados de fusión en términos de reducción de ruido y finalización de la superficie (Riegler et al., 2018).	17

Índice de Tablas

Tabla 1. Aplicación del criterio PICOC. Elaboración propia	7
Tabla 2. Resumen de resultados de primera búsqueda de literatura del método basado en simetrías	8
Tabla 3. Resumen de resultados de la primera búsqueda de literatura del método orientado a datos	8

Tabla 4. Resumen de resultados de la segunda búsqueda de literatura del método basado en simetrías	10
Tabla 5. Resumen de resultados de la segunda búsqueda de literatura del método orientado a datos.....	13



1 Introducción

La obtención de artefactos arqueológicos por medio de excavaciones produce que, hoy en día, sea común encontrarlos dañados o rotos (Hermoza & Sipiran, 2017). Estos objetos son típicamente expuestos a efectos climatológicos, erosión y estrés físico, lo cual daña tanto parcialmente como de manera desigual sus superficies (Papaioannou et al., 2017a). Sus zonas fracturadas son frecuentemente suavizadas y las partes faltantes en objetos genéricos tienden a abrir paso a más interpretaciones, mayor ambigüedad y a veces vuelve imposible determinar la forma exacta y el número de objetos originales en una colección de fragmentos (Papaioannou et al., 2017a). El proceso para reparar y conservar estos objetos resulta tedioso y delicado, los objetos son frecuentemente frágiles y, por consiguiente, su manipulación debe ser corta (Hermoza & Sipiran, 2017). Ante estos inconvenientes, la reconstrucción manual de todos estos objetos resulta inalcanzable, pues involucra un alto costo económico, recurso de personal y de tiempo por cada pieza arqueológica.

En la actualidad, existen esfuerzos para mejorar este proceso mediante el uso de herramientas computacionales, tales como métodos simétricos de reconstrucción e investigaciones tecnológicas por organizaciones como CultLab3D (Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research, 2018). Estas herramientas tienen un rápido procesamiento de la información por lo que, obteniendo una representación digital de las piezas a reconstruir, pueden agilizar el proceso de restauración. Además, minimiza el riesgo de daño de los objetos, pues solo serían manipulados para obtener una representación digital.

Sin embargo, la mayoría de estos esfuerzos asumen que estos objetos hechos por el hombre guardan algún tipo de estructura y regularidad, por lo que se basan en métodos geométricos y simétricos complejos (Mitra et al., 2013) que limitan la reparación de las piezas arqueológicas. A pesar del rápido procesamiento computacional, estos tipos de métodos toman mucho tiempo en reparar las piezas debido a que estas técnicas hacen un intenso uso de los recursos computacionales para encontrar simetrías y correspondencias, siendo poco atractivo e interactivo para investigadores que usarían estos métodos. Asimismo, están limitadas a reconstruir el objeto hasta cierto nivel, por lo que se siguen haciendo esfuerzos para mejorar la calidad de reconstrucción (Hermoza & Sipiran, 2017).

2 Método

2.1 Revisión Sistemática

2.1.1 Preguntas de Investigación

La reconstrucción de objetos 3D ha sido un problema recurrente en la comunidad científica y tratado de resolver de distintas formas. Los métodos han podido ser clasificados en métodos simétricos y métodos orientados a datos. En el presente capítulo se mostrará una compilación de investigaciones relevantes sobre la reconstrucción 3D de piezas arqueológicas. De este modo, se formulan las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son los métodos simétricos más relevantes en la reconstrucción 3D de piezas arqueológicas?
2. ¿Cuáles son los métodos orientados a datos más relevantes en la reconstrucción 3D que pueden ser enfocados a la reconstrucción 3D de piezas arqueológicas?

2.1.2 Proceso de Búsqueda

Se utilizará el método PICOC (Población, Intervención, Comparación, Salidas y Contextos) para describir las preguntas propuestas.

Tabla 1. Aplicación del criterio PICOC. Elaboración propia

Criterio	Descripción
Población	Modelos 3D de piezas arqueológicas
Intervención	Métodos computacionales para la reconstrucción de modelos 3D: <ul style="list-style-type: none">• Métodos simétricos/geométricos• Métodos orientados a datos
Comparación	Métodos simétricos para la reconstrucción de modelos 3D Métodos orientados a datos para la reconstrucción de modelos 3D
Salidas	Precisión en reconstrucción
Contextos	Contexto académico e industria de arqueología

Se considerarán las publicaciones realizadas a partir del año 2015. La búsqueda será realizada usando tres reconocidas bases de datos para buscar citas de literatura: SCOPUS, ACM Digital Library e IEEE Xplore Digital Library. La búsqueda en estas bases de datos se realizó el 25 de abril de 2019. Asimismo, se realizarán dos cadenas de búsqueda, una para la búsqueda de literatura de métodos basados en simetrías para la reconstrucción de objetos arqueológicos en modelos 3D y otra cadena

de búsqueda para la literatura de métodos orientados a datos para la reconstrucción de objetos en general en modelos 3D.

2.1.3 Criterios de Inclusión y Exclusión

Para la búsqueda de literatura del primer método se usó la siguiente cadena de búsqueda:

("3D reconstruction") AND (symmetr* OR geometr*) AND (archaeolog*) AND (PUBYEAR > 2015)

En esta primera búsqueda se obtuvieron los siguientes resultados, en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de resultados de primera búsqueda de literatura del método basado en simetrías

Nombre de base de datos	Resultados de búsqueda
SCOPUS	514
ACM Digital Library	4
IEEE Xplore Digital Library	5
Total	523

En la búsqueda en SCOPUS se encontró literatura correspondiente a computación gráfica enfocada en superficies dentro del agua. Al ser un tema ajeno al propósito de la reconstrucción de piezas arqueológicas, se excluye de la búsqueda. Además, se encuentra literatura ajena al área que se está abordando; como enfoques de ciencias sociales, artes y humanidades; por lo que se procedió a limitar al área de Ciencias de la Computación. Por último, se excluyó literatura de la fuente "International Archives Of The Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences ISPRS Archives" ya que presenta reconstrucción de objetos ajenos a piezas arqueológicas. Dada estas nuevas limitantes, se construye la siguiente cadena de búsqueda:

("3D reconstruction") AND (PUBYEAR > 2015) AND (geometry) AND (archaeology) AND NOT (underwater) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP")) AND (EXCLUDE (EXACTSRCTITLE , "International Archives Of The Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences ISPRS Archives"))

Para la búsqueda de literatura del segundo método se usó la siguiente cadena de búsqueda:

("3D reconstruction") AND ("shape completion") AND (PUBYEAR > 2015) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP"))

Con esta búsqueda se obtuvieron los siguientes resultados, en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de resultados de la primera búsqueda de literatura del método orientado a datos

Nombre de base de datos	Resultados de búsqueda
SCOPUS	98
ACM Digital Library	6
IEEE Xplore Digital Library	1
Total	124

En la base de datos SCOPUS, se limitó a las fuentes "Proceedings Of The IEEE Computer Society Conference On Computer Vision And Pattern Recognition", "Computer Graphics Forum", "ACM Transactions On Graphics", "IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics", "Proceedings 2017 International Conference On 3D Vision 3dv 2017", "Proceedings 30th IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition Cvpr 2017", "IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence", "Proceedings 2017 IEEE International Conference On Computer Vision Workshops Iccvw 2017", al considerarlas como las fuentes más relevantes de literatura para el método orientado a datos. Dada estas nuevas limitantes, se construye la siguiente cadena de búsqueda:

("3D reconstruction") AND ("shape completion") AND (PUBYEAR > 2015) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP")) AND (LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Proceedings Of The IEEE Computer Society Conference On Computer Vision And Pattern Recognition") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Computer Graphics Forum") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "ACM Transactions On Graphics") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Proceedings 2017 International Conference On 3D Vision 3dv 2017") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Proceedings 30th IEEE Conference On Computer Vision And Pattern Recognition Cvpr 2017") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence") OR LIMIT-TO (EXACTSRCTITLE , "Proceedings 2017 IEEE International Conference On Computer Vision Workshops Iccvw 2017")).

2.1.4 Datos Extraídos

Los datos que se extraen de cada artículo son el título, año de publicación, área de investigación, fuentes de referencia, experimentación, resultados conseguidos e imágenes.

2.1.5 Datos Analizados

Con los datos extraídos se podrán responder las preguntas de la investigación tomando en consideración la técnica utilizada para la reconstrucción de los objetos, el nivel de precisión logrado, las limitaciones presentadas para su correcta reconstrucción, el tiempo y recursos computacionales requeridos.

2.2 Resultados

2.2.1 Resultados de Búsqueda

Esta segunda búsqueda devuelve los siguientes resultados, resumidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen de resultados de la segunda búsqueda de literatura del método basado en simetrías

Nombre de la base de datos	Resultados de búsqueda	Resultados sin duplicar
SCOPUS	150	150
ACM Digital Library	4	2
IEEE Xplore Digital Library	3	2
Total	157	154

A continuación, se mencionan los siguientes artículos más destacados, en base a la similitud del título, resumen y desarrollo de los trabajos propuestos con el objetivo de la búsqueda, la cual era de métodos basados en simetrías para la reconstrucción de objeto arqueológicos en modelos 3D:

Desde el reensamblaje hasta la finalización de objetos: una metodología completa del sistema (*From reassembly to object completion: A complete systems pipeline*) (Papaioannou et al., 2017a)

En esta investigación, se propone una metodología para la restauración de forma que consiste en procesos para el reensamblado automático y finalización de forma. Para el reensamblado automático, se propone considerar un optimizador por pares, un solver de combinatorias y refinador de multipartes, y un flujo de trabajo de reensamblaje. Para la finalización de forma, se consideran la finalización de objetos, el cual permitirá reconstruir las partes faltantes del objeto ensamblado previamente; la fusión y anotación, en este proceso se fusionarán los fragmentos ensamblados y restaurados para tener un objeto terminado, además, se considera importante anotar los tipos de fragmentos a fusionar (el set de fragmentos, las superficies detectadas fracturadas, y la forma completa generada); y la extracción de partes faltantes, para su uso en la realidad, como la reconstrucción física del objeto en la realidad (Papaioannou et al., 2017b). Cabe resaltar que en esta investigación no solo se proponían métodos simétricos, sino que se hizo un primer acercamiento a la aplicabilidad de reconstrucción de objetos 3D al ámbito de la arqueología.

Un método automático para la caracterización dimensional y de formas de la cerámica (*An automatic method for dimensional and shape characterization of pottery*) (Di Angelo et al., 2016)

Según lo propuesto por Di Angelo, Di Stefano y Pane (Di Angelo et al., 2016), se reconocen las características geométricas y morfológicas para un análisis dimensional. Este método trata de representar algorítmicamente el proceso manual de reconstrucción, reconociendo características que se toman en el proceso manual como la pared exterior, pared interior, bordes y base del objeto. Asimismo, toma características de dimensionamiento como el espesor del borde, la altura del borde, el diámetro de la cerámica en el punto apical de la cerámica, el diámetro máximo, el espesor en correspondencia con la base, el máximo diámetro de la base de la cerámica, la altura de los fragmentos y el espesor de la pared. Con estos parámetros se ejecutan la segmentación y reconocimiento de características geométricas y morfológicas de fragmentos, y la evaluación de características de dimensionamiento.

Finalización de objetos utilizando optimización k esparsa (*Object Completion using k -Sparse Optimization*) (Mavridis et al., 2015)

En la siguiente investigación se presenta una formulación matemática para el problema de detección parcial y aproximación simétrica, basado en la maximización de la esparcidad del vector de distancia residual, sujeto a la restricción de que al menos k elementos no deben ser ceros. Además, se propone un método de registro basado en un algoritmo de consenso de muestra aleatoria para resolver eficientemente el problema de optimización global y detectar las simetrías disponibles (Mavridis et al., 2015). Logra la reconstrucción de objetos que incluso solo se encuentra representado su 25%, reconstruyendo la totalidad del objeto con una precisión destacable. La Figura 1 muestra un ejemplo de reconstrucción aplicando el método propuesto.

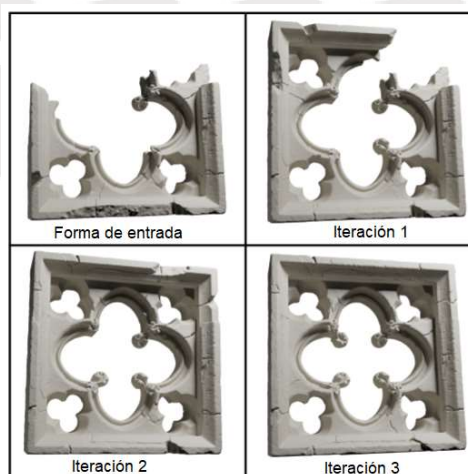


Figura 1. Finalización iterativa de un objeto de patrimonio cultura parcialmente ensamblado usando el algoritmo propuesto. Este método ha detectado apropiadamente la simetría rotacional discreta subyacente y llena progresivamente las partes faltantes, hasta que el método converge (Mavridis et al., 2015).

Un método novedoso para estimar la forma completa en 3D de la cerámica con simetría axial a partir de sus fragmentos simples basada en el análisis de componentes principales (*A novel method for estimating the complete 3D shape of pottery with axial symmetry from single potsherds based on principal component analysis*) (Zvietcovich et al., 2016)

Este artículo propone un novedoso enfoque digital destinado a mejorar el registro e interpretación arqueológica mediante la reconstrucción completa de formas en 3D de la cerámica con simetría axial basada en las grabaciones en 2D de tiosos individuales. Un escáner láser 3D y una fotogrametría se utilizan para adquirir los modelos de malla de los fragmentos y las vasijas completas, respectivamente. Posteriormente, los perfiles del generador 2D se extraen de los modelos mediante el cálculo del contorno, el eje de simetría y el diámetro del borde del fragmento. Luego, se estableció, clasificó y utilizó una base de datos de contornos de perfil de recipientes completos en el algoritmo de reconstrucción utilizando el análisis de componentes principales (PCA) para obtener una representación completa en 3D de la cerámica estimada a partir de un solo recipiente de cerámica (Zvietcovich et al., 2016). La Figura 2 muestra un ejemplo de método de reconstrucción propuesto. En esta investigación se usaron tanto conceptos de simetría, como es la simetría axial lo que permite reconstruir todo un objeto con tan solo un eje de perfil, y un método orientado a datos, el cual es la reconstrucción del objeto por medio del análisis de componentes principales para encontrar la vasija que se asemeje más a las características del fragmento en su base de datos.

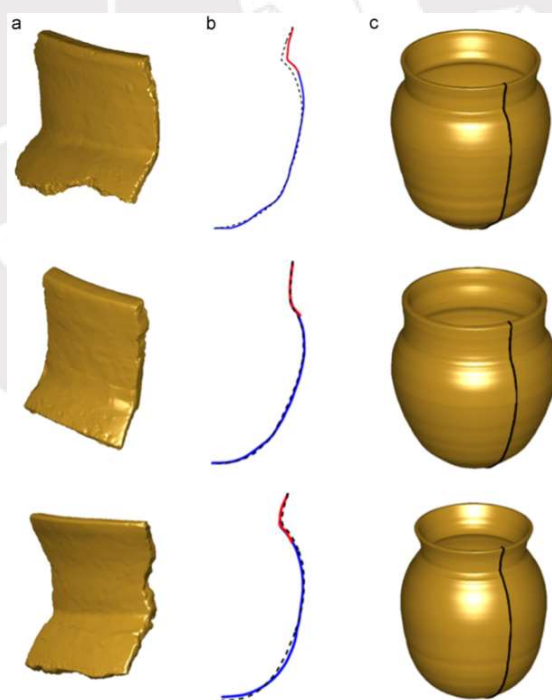


Figura 2. Reconstrucción de perfil de tres fragmentos reales extraídos durante excavaciones arqueológicas. (a) Modelo de malla 3D de los fragmentos. (b) Reconstrucción de perfil (línea azul) de los tres fragmentos (línea roja) usando una base de datos de la paica más similar (línea discontinua negra). (c) Modelos de malla 3D de recipientes completos generados al rotar los perfiles en (b) alrededor de su eje de simetría.

Reparación de vasijas rotas, una fusión entre marcas de color y puntos de anclaje en roturas de superficie (*Mending broken vessels a fusion between color markings and anchor points on surface breaks*) (Cohen et al., 2016)

El método explota la información de marcado de la superficie del vaso junto con una serie de modelos genéricos construidos por los arqueólogos para producir una reconstrucción virtual de lo que pudo haber sido el vaso original. La alineación se basa en un nuevo conjunto de momentos discretos ponderados calculados a partir de cascos convexos de las marcas en la superficie de los fragmentos y los recipientes genéricos. Cuando los fragmentos no tienen marcas en ellos, virtualmente se pueden reparar para hacer topes con los fragmentos utilizando puntos de anclaje diferenciales intrínsecos calculados en los saltos de superficie y alineados usando un conjunto de invariantes absolutos. Para objetos axialmente simétricos, se agrega una restricción global inducida por la superficie de revolución para garantizar la coherencia global de la reparación (Cohen et al., 2016).

Esta segunda búsqueda devuelve los siguientes resultados, resumidos en la Tabla 5.

Tabla 5. Resumen de resultados de la segunda búsqueda de literatura del método orientado a datos

Nombre de la base de datos	Resultados de búsqueda	Resultados sin duplicar
SCOPUS	38	38
ACM Digital Library	1	1
IEEE Xplore Digital Library	7	3
Total	46	42

Los siguientes artículos más destacados, en base a la similitud del título, resumen y desarrollo del trabajo con respecto métodos basados a datos para la reconstrucción de modelos 3D, son los siguientes:

Reconstrucción 3D de objetos arqueológicos incompletos utilizando una red adversaria generativa. (*3D reconstruction of incomplete archaeological objects using a generative adversarial network*) (Hermoza & Sipiran, 2017)

Según lo propuesto por Renato Hermoza e Ivan Sipiran (Hermoza & Sipiran, 2017), se puede reconstruir la mayor parte de objetos dañados, incluso en casos donde más de la mitad del objeto es faltante, sin producir muchos errores. Para ello, hace uso de redes neuronales adversarias para reconstrucción de objetos llamada ORGAN y sus datos de entrada como de salida son representados en voxels. Esta técnica puede ser usada repetidamente sobre el objeto a reconstruir para aumentar el porcentaje de reconstrucción. La Figura 3 muestra un ejemplo de sus resultados.

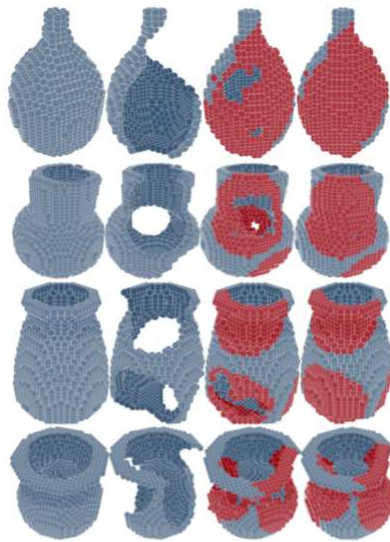


Figura 3. De izquierda a derecha: objetos completos, objetos con fracturas simuladas, reconstrucción con ORGAN, segunda reconstrucción con ORGAN (Hermeza & Sipiran, 2017).

Reconstrucción de objetos 3D densos desde una única vista de profundidad (*Dense 3D Object Reconstruction from a Single Depth View*) (Yang et al., 2018)

En este artículo se propone un novedoso acercamiento a la reconstrucción de objetos llamado 3D-RecGAN++, que reconstruye objetos 3D completos a partir una única vista de profundidad. Para ello, combinan autocodificadores y redes adversativas generativas para poder inferir con precisión y en detalle estructuras 3D representadas en voxeles, con una representación de datos de salida de 256^3 voxeles (Yang et al., 2018). En la Figura 4 se muestra un ejemplo de la aplicación de 3D-RecGAN++.



Figura 4. El método 3D-RecGAN++ reconstruye completamente una forma 3D a partir de una única vista de profundidad 2.5D (Yang et al., 2018).

Finalización de formas usando redes neuronales convolucionales de Codificador-Predictor 3D y síntesis de formas (Shape Completion using 3D-Encoder-Predictor CNNs and Shape Synthesis) (Dai et al., 2017)

Según lo propuesto por Angela Dai, Charles Ruizhongtai Qi y Matthias Nießner, se presenta un método eficiente para completar escaneos parciales de objetos, combinando una nueva arquitectura 3D de aprendizaje profundo. En ella, se introduce una red predictora decodificadora para inferir la forma del objeto de entrada en bajo detalle. Luego, se introduce un procedimiento de síntesis de forma 3D para obtener un mayor detalle local (Dai et al., 2017). Los resultados obtenidos se pueden observar en la Figura 5.



Figura 5. Ejemplo de finalización de forma con el método propuesto (Dai et al., 2017).

Predicción estructurada de vóxeles no observados desde una única imagen de profundidad (Structured Prediction of Unobserved Voxels From a Single Depth Image) (Firman et al., 2016)

Para construir un modelo 3D completo de una escena dado solo una imagen, se propone un algoritmo que puede completar los ambientes no observados en escenas de objetos en una mesa basado en un entrenamiento de un modelo supervisado a partir de objetos volumétricos disponibles. Se obtienen resultados plausibles en situaciones de la vida real. En la Figura 6 se menciona un ejemplo.

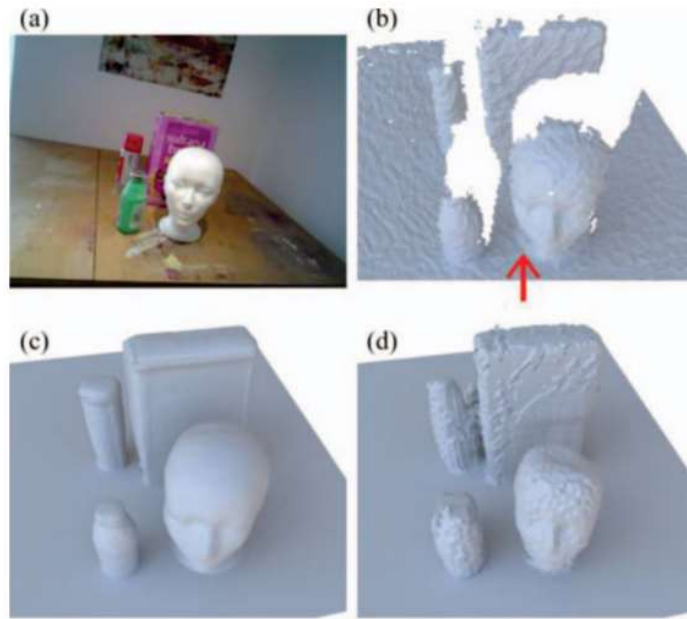


Figura 6. La finalización volumétrica. (a) Ilustración. (b) (Dato de entrada) La proyección 3D de la imagen profunda, capturada desde la perspectiva de la flecha roja, donde las oclusiones inducen largos espacios vacíos. (c) Realidad de la ocupación capturada usando KinectFusion con múltiples vistas. (d) (Datos de salida) El algoritmo Voxlets produce una finalización plausible de la geometría ocluida.

OctNetFusion: Fusión de profundidad de aprendizaje a partir de datos (OctNetFusion: Learning Depth Fusion from Data) (Riegler et al., 2018)

En esta investigación se propone un enfoque basado en el aprendizaje para la fusión profunda, esto es, una reconstrucción 3D densa a partir de múltiples imágenes de profundidad. Para ello, se utiliza una red neuronal convolucional profunda 3D llamada OctNetFusion, siendo capaz de fusionar información de profundidad de múltiples puntos de vista para producir precisas y completas reconstrucciones 3D.

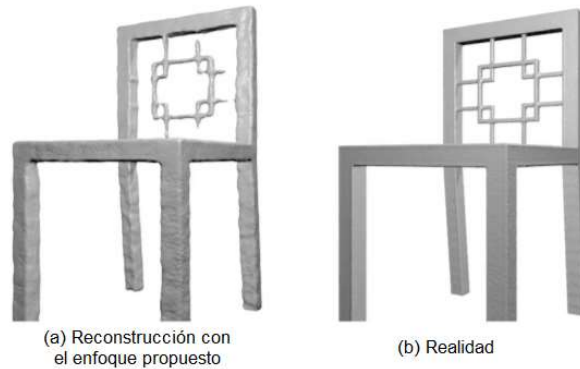


Figura 7. Los resultados de fusión de profundidad usando cuatro vistas uniformemente espaciadas alrededor del objeto. (a) El enfoque propuesto aprende de grandes repositorios 3D y mejora significativamente los resultados de fusión en términos de reducción de ruido y finalización de la superficie (Riegler et al., 2018).

2.3 Discusión

Con respecto a las preguntas inicialmente establecidas, y luego de haber realizado el estudio preliminar correspondiente ya analizando las investigaciones mencionadas anteriormente, se responde lo siguiente:

2.3.1 ¿Cuáles son los métodos simétricos más relevantes en la reconstrucción 3D de piezas arqueológicas?

Entre los más significativos resalta el método de (Mavridis et al., 2015) donde se logra una reconstrucción completa y plausible de objetos con un 75% de falta de información. La estrategia de utilizar un optimizador k esparso ha brindado muy buenos resultados para el reconocimiento de simetrías. Otro trabajo novedoso es el aprovechamiento de simetría de cierto tipos de piezas arqueológicas, como lo son las vasijas, para reconstruir completamente una vasija llamada paica a partir de un pequeño pedazo y tan solo utilizando un plano de perfil (Mavridis et al., 2015).

2.3.2 ¿Cuáles son los métodos orientados a datos más relevantes en la reconstrucción 3D que pueden ser enfocados a la reconstrucción 3D de piezas arqueológicas?

En el estudio previo, se encuentra mucha relevancia con el método de redes neuronales adversarias, utilizando un autocodificador. Este método se puede observar en (Hermeza & Sipiran, 2017) y (Yang et al., 2018), con resultados plausibles en cada caso. También se encuentra similitud en la selección del tipo de dato de salida, el cual son voxeles, encontrados en (Yang et al., 2018), (Hermeza & Sipiran, 2017) y (Firman et al., 2016). Esta estructura tiene un alto costo computacional para obtener mayor detalle, sin embargo, muestra resultados resaltables a pesar de no poder tener alta precisión. Existen otros métodos como mallas triangulares que permiten representar con mayor precisión los detalles; sin embargo, se pueden observar dificultades para representar superficies planas.

2.4 Revisión de Tesis

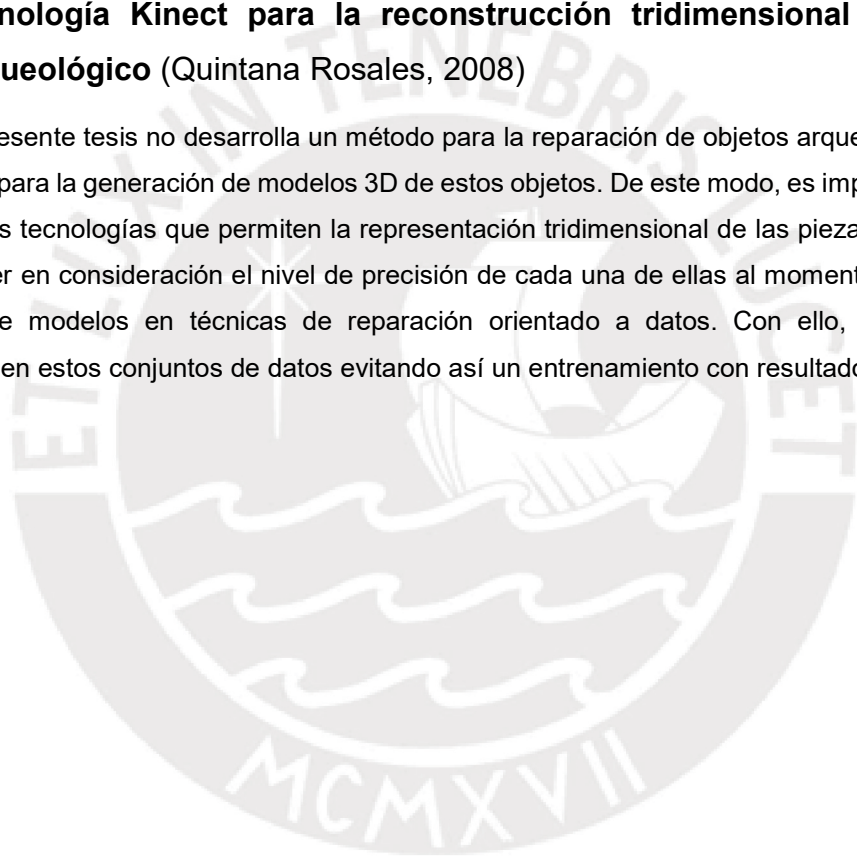
Utilizando las palabras clave de las cadenas de búsqueda y limitando a las tesis de la facultad de Ciencias e Ingeniería, se obtienen las siguientes tesis en el repositorio PUCP.

2.4.1 Desarrollo de herramienta de visualización para la reparación de piezas arqueológicas basado en su simetría (Toribio Ossio, 2018)

Esta tesis propone una herramienta de visualización que permite la asistencia para la reparación de estas piezas mediante técnicas de simetría. De este modo, se busca reducir el campo de análisis para la reparación de los objetos mediante estas técnicas y con ello reducir el tiempo y recursos computacionales requerido inicialmente.

2.4.2 Registro de una secuencia temporal de nubes de puntos utilizando tecnología Kinect para la reconstrucción tridimensional de material arqueológico (Quintana Rosales, 2008)

Si bien la presente tesis no desarrolla un método para la reparación de objetos arqueológicos, busca alternativas para la generación de modelos 3D de estos objetos. De este modo, es importante conocer estas nuevas tecnologías que permiten la representación tridimensional de las piezas arqueológicas a fin de tener en consideración el nivel de precisión de cada una de ellas al momento de utilizar sus conjuntos de modelos en técnicas de reparación orientado a datos. Con ello, se minimizarán deficiencias en estos conjuntos de datos evitando así un entrenamiento con resultados no deseados.



3 Conclusiones

Se puede concluir que los métodos de simetría logran reconstruir plausiblemente objetos incluso muy dañados; sin embargo, estos objetos están limitados a ser simétricos, por lo que objetos arqueológicos que no cumplen con simetría, o con un daño que no permita detectar alguna simetría, no podrán ser reconstruidos por este método.

Por otro lado, los métodos orientados a datos aumentan la libertad de piezas a reconstruir, pues no deben presentar específicamente alguna simetría para poder ser reconstruida. Asimismo, presentan tiempo de reconstrucción menores a los métodos de simetría, ya que los cálculos de los datos por las redes neuronales profundas entrenadas son constantes e instantáneas.



4 Referencias

- Cohen, F., Zhang, Z., & Liu, Z. (2016). Mending broken vessels a fusion between color markings and anchor points on surface breaks. *Multimedia Tools and Applications*, 75(7), 3709–3732. <https://doi.org/10.1007/s11042-014-2190-0>
- Dai, A., Qi, C. R., & Nießner, M. (2017). Shape completion using 3D-encoder-predictor CNNs and shape synthesis. *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017, 2017-Janua*, 6545–6554. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.693>
- Di Angelo, L., Di Stefano, P., & Pane, C. (2016). An automatic method for dimensional and shape characterization of pottery. *IMEKO International Conference on Metrology for Archeology and Cultural Heritage, MetroArcheo 2016, 2016-Octob*. <https://www.imeko.org/publications/tc4-Archaeo-2016/IMEKO-TC4-ARCHAEO-2016-04.pdf>
- Firman, M., Aodha, O. Mac, Julier, S., & Brostow, G. J. (2016). Structured Prediction of Unobserved Voxels from a Single Depth Image. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 5431–5440. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2016.586>
- Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research. (2018). *CultLab3D | Fraunhofer IGD*. <https://www.cultlab3d.de/>
- Hermoza, R., & Sipiran, I. (2017). *3D Reconstruction of Incomplete Archaeological Objects Using a Generative Adversarial Network*. <https://github.com/renato145/3D-ORGAN>
- Mavridis, P., Sipiran, I., Andreadis, A., & Papaioannou, G. (2015). Object Completion using k-Sparse Optimization. *Computer Graphics Forum*, 34(7), 13–21. <https://doi.org/10.1111/cgf.12741>
- Mitra, N. J., Pauly, M., Wand, M., & Ceylan, D. (2013). Symmetry in 3D geometry: Extraction and applications. In *Computer Graphics Forum*. <https://doi.org/10.1111/cgf.12010>
- Papaioannou, G., Schreck, T., Andreadis, A., Mavridis, P., Gregor, R., Sipiran, I., & Vardis, K. (2017a). From Reassembly to Object Completion: A Complete Systems Pipeline. *J. Comput. Cult. Herit.*, 10(2), 8:1--8:22. <https://doi.org/10.1145/3009905>
- Papaioannou, G., Schreck, T., Andreadis, A., Mavridis, P., Gregor, R., Sipiran, I., & Vardis, K. (2017b). From Reassembly to Object Completion. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 10(2), 1–22. <https://doi.org/10.1145/3009905>
- Quintana Rosales, M. A. (2008). *Registro de una secuencia temporal de nubes de puntos utilizando tecnología Kinect para la reconstrucción tridimensional de material arqueológico*.
- Riegler, G., Ulusoy, A. O., Bischof, H., & Geiger, A. (2018). OctNetFusion: Learning Depth Fusion from Data. *Proceedings - 2017 International Conference on 3D Vision, 3DV 2017*, 57–66. <https://doi.org/10.1109/3DV.2017.00017>
- Toribio Ossio, G. R. (2018). *Desarrollo de herramienta de visualización para la reparación de piezas arqueológicas basado en su simetría* [Pontificia Universidad Católica del Perú].

http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13894/TORIBIO_OSSIO_GERSON_RICARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Yang, B., Rosa, S., Markham, A., Trigoni, N., & Wen, H. (2018). Dense 3D Object Reconstruction from a Single Depth View. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2018.2868195>

Zvietcovich, F., Navarro, L., Saldana, J., Castillo, L. J., & Castaneda, B. (2016). A novel method for estimating the complete 3D shape of pottery with axial symmetry from single potsherds based on principal component analysis. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 3(2), 42–54. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2016.05.001>

