



Geología desde los ojos de un dron

Una poderosa herramienta educativa para los actuales ingenieros en Ciencias de la Tierra

Proyecto DGAPA/UNAM/PAPIME: PE101020

Unidades Teóricas

UT-03

Generalidades de las nubes de puntos en geociencias

Mancera-Alejándrez Javier
Vega-Ahuacatitla Marlene
Aguilar-Ojeda Daniel



UNAM / FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA



Este producto docente ha sido financiado por la DGAPA-UNAM a través del proyecto PAPIIME PE101020 “Geología desde los ojos de un dron: una poderosa herramienta educativa para los actuales ingenieros de la Tierra”.

Por favor cítanos como:

Mancera-Alejandrez J., Vega-Ahuacatitla M., Aguilar-Ojeda, D. (2021),
Generalidades de las nubes de puntos en geociencias, Unidad teórica UT-03, proyecto
PAPIIME clave PE101020 (DGAPA-UNAM): “Geología desde los ojos de un dron:
una poderosa herramienta educativa para los actuales ingenieros de la Tierra”.
Facultad de Ingeniería, UNAM.

1. Introducción

Todos hemos sido testigos de la velocidad en el desarrollo de los avances tecnológicos en las últimas décadas, cada día migramos más hacia lo digital y aprendemos a realizar distintos procesos con la ayuda de los sistemas computacionales, que anteriormente se realizaban de manera manual. Un ejemplo muy claro, en cuanto a las *nubes de puntos*, podría ser en el campo de la topografía, anteriormente se requerían numerosas brigadas de personas que salían a campo a realizar observaciones y mediciones con diversos aparatos para poder generar los mapas de las zonas de interés, este proceso además de ser lento, costoso, e inclusive con cierto riesgo, tenía la limitante de carecer de información suficiente; actualmente la generación de mapas es una actividad que ha evolucionado de manera simultánea a los avances de la tecnología, permitiendo generar mapas de cualquier superficie de interés en poco tiempo, a bajos costos, de manera más segura y con una cantidad impresionante de información y de detalle. Este nivel de detalle puede alcanzarse debido a la potencia y accesibilidad de los instrumentos con los que contamos hoy en día para la obtención y procesamiento de la información.

Una de las técnicas más populares para digitalizar información espacial es la de generación de nubes de puntos, la cual tiene aplicabilidad en diversas áreas, sin embargo, en este texto se enfocarán en las geociencias.

2. Marco teórico de referencia

Una nube de puntos es un conjunto de datos espaciales que representan una superficie externa, cada dato está referenciado a un sistema coordenado (X, Y, Z) y representa una muestra de la superficie, es decir que por medio de una alta densidad de datos puntuales posicionados tridimensionalmente en el espacio se busca representar, de manera más aproximada, una superficie [Poullis \(2013\)](#).

Las nubes de puntos permiten generar modelos tridimensionales, por esta razón tienen una amplia gama de aplicaciones en distintas áreas, ya que pueden ser de utilidad en disciplinas como arquitectura o ingeniería civil, modelado de piezas en el sector industrial, topografía, arqueología, ecología y medio ambiente, protección civil, agricultura, aplicaciones militares, ciencias de la Tierra, entre muchas otras ([Westoby et. al. 2012](#)).

En Ciencias de la Tierra, los procedimientos que más se utilizan para obtener una nube de puntos son el escaneo láser y la fotogrametría digital para diversas aplicaciones desde solo la reconstrucción de un sitio y poder analizarlo hasta la extracción de datos geológicos como la actitud de planos (Riquelme, 2014).

El escaneo láser tiene su principal aplicación en el área de la topografía para generar Modelos Digitales de Elevaciones (*DEM* por sus siglas en inglés) y la tecnología más utilizada es LiDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*). El LiDAR es un método de detección remota utiliza ondas electromagnéticas (EM) en las longitudes de onda óptica e infrarroja. Es un sensor activo, lo que significa que envía una onda EM y recibe la señal reflejada (McManamon, 2019), permitiendo así hacer un barrido de la superficie de interés y obtener mediciones de distancia y ángulos para generar un conjunto masivo de datos espaciales, es decir, una nube de puntos. Figura 1.

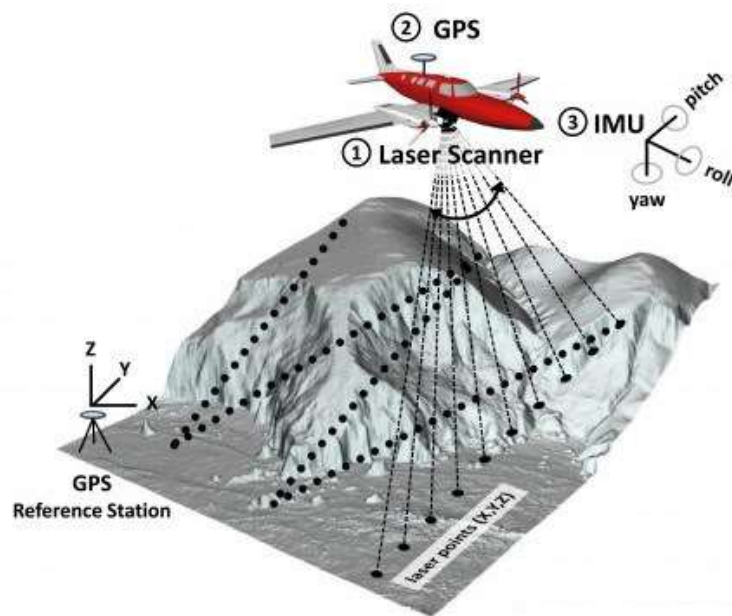


Figura 1. Ilustración del LiDAR o proceso de escaneo láser aerotransportado. Imagen tomada de Höfle & Rutzinger (2011).

Por otro lado, la fotogrametría es una técnica que utiliza fotografías para reconocer propiedades geométricas como la forma y dimensiones y la posición espacial de un objeto o un espacio de interés. Esta técnica lleva utilizándose muchos años, en un principio se utilizaban aparatos llamados estereoscopios, estos aparatos basan su teoría en la óptica y por medio de lentes y espejos permiten observar, al mismo tiempo, dos fotografías de un mismo objeto (o lugar) tomadas desde dos perspectivas diferentes

para crear una ilusión tridimensional, a partir de esta ilusión es posible realizar mediciones sobre las fotografías, Figura 2.



Figura 2. Estereoscopio, principio de la fotogrametría.

<http://www.topoequipos.com/dem/images/fotogrametria/MP1218.jpg>

Con los avances tecnológicos de los instrumentos de fotografía y de las computadoras esta técnica también ha evolucionado. Actualmente se utiliza la fotogrametría digital que tiene en principio el mismo objetivo, pero la forma de hacerlo ha cambiado, ahora se utilizan fotografías en formato digital y el procesamiento para generar los productos tridimensionales se realiza mediante software.

Existen diversas metodologías para procesar las fotografías y obtener una nube de puntos a partir de éstas, sin embargo, la más utilizada es “*Structure from Motion (SfM)*” (“Estructura a partir del movimiento”). Esta metodología está basada en los principios de la fotogrametría estereoscópica, es decir, que la estructura 3D se puede resolver a partir de una serie de imágenes desplazadas superpuestas (Westoby et.al., 2012), como se ilustra en la Figura 3. Dicho de otro modo, este método consiste básicamente en tomar, de manera secuencial, una serie de fotografías del objeto o lugar de interés desde distintos ángulos, debido a la superposición de las fotografías el software logra determinar la posición de la cámara y la geometría de la escena mediante la identificación automática de características coincidentes en varias imágenes (Westoby et.al., 2012), se puede mejorar el resultado si previamente se indican puntos de control en común entre cada fotografía. El resultado inicial de este proceso genera una nube de puntos la cual puede reprocesarse para densificarse (generar más puntos) y finalmente generar textura y escalar el modelo tridimensional final.

Esta técnica puede aplicarse a diferentes escalas, desde objetos pequeños hasta edificaciones, permitiendo su aplicación en muchas áreas, además de que los costos

pueden ser muy bajos, ya que para la obtención de fotografías se puede usar desde una cámara de un dispositivo móvil hasta cámaras profesionales o drones, y para el procesamiento existe software libre o de paga.

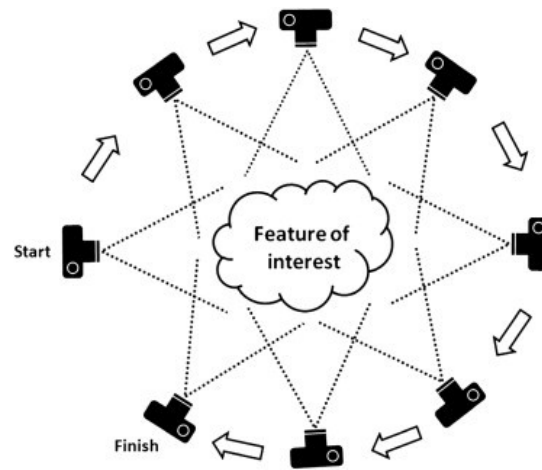


Figura 3. Esquema de la adquisición de las fotografías para la técnica 'Structure from Motion' (Westoby et.al., 2012).

3. Aplicaciones en las geociencias

Las nubes de puntos en Ciencias de la Tierra se han utilizado en diferentes aplicaciones y con diferentes objetivos. En un principio la mayoría de los trabajos se enfocaba en la generación de *DEM's* para la configuración de las geoformas e identificación de zonas de inundación, riesgo y movimiento de laderas, ejemplos de esto hay muchos el lector puede encontrar una gran cantidad de trabajos publicados al respecto. Las metodologías para la adquisición de la información varían, sin embargo, las mayormente utilizadas son LiDAR y fotogrametría con drones, un buen ejemplo es el trabajo de [Cabrera-Hernández J, et. al. \(2016\)](#), en el que obtiene *DEM's* de alta resolución a partir fotogrametría digital con datos obtenidos con un dron y una cámara de bajo costo.

En particular nosotros nos hemos interesado en la extracción de datos de las rocas a partir del post-proceso de las nubes de puntos, rama en donde se han desarrollado una buena cantidad de algoritmos bajo diferentes lenguajes de programación y cada uno con diferentes aplicaciones particulares. Sin duda uno de los trabajos precursores en este sentido es el de [Slob y Hack \(2004\)](#) quienes a partir de nubes de puntos obtenidas

con radares laser plantean los inicios de cómo extraer datos de la actitud de planos en afloramientos de roca.

En el trabajo de [Liu, L., et. al. \(2019\)](#) se puede encontrar una revisión de algunos de los algoritmos más utilizados, ya que los autores ponen a “prueba” y comparan su metodología con la de otros, Figura 4.

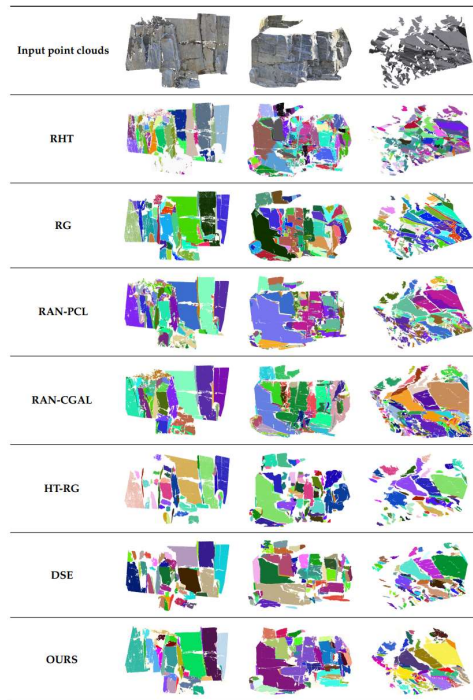


Figura 4. Comparativa de la aplicación de diferentes metodologías y algoritmos para la extracción de la actitud de planos a partir de nubes de puntos, tomada de [Liu, L., et. al. \(2019\)](#).

Varios autores, incluso han ido más allá, por ejemplo, [Riquelme A., et. al. \(2015\)](#), propone una forma de calcular los espaciamientos entre discontinuidades a partir de una nube de puntos de un afloramiento de roca. El propio [Riquelme A., et. al. \(2021\)](#) en un trabajo en donde compara nubes de puntos generados a partir de un TLS (Sistema de escaneo laser terrestre), fotogrametría con SfM y un iPhone-12 en su versión PRO que incluye un sensor LiDAR, presenta una tabla (Tabla 1) en la que lista los métodos tradicionales y los que se han desarrollado con tecnologías actuales para de obtención de datos de las discontinuidades en masas de roca.

Tabla 1. Métodos utilizados para la obtención de parámetros de las discontinuidades, Riquelme A., et. al. (2021).

| Parameter | Traditional method [4] | Current methods |
|-------------------------|---|--|
| 1. Orientation | (A) Compass and clinometer method Compass and clinometer Clino-rule of 50 m. (B) Photogrammetric method Reconnaissance survey equipment Phototheodolite and tripod Control survey equipment Stereoscopic plotting instrument | 3D point clouds: 3D laser scanning [6,7] Digital stereo-photogrammetry [8,9] SfM [10] |
| 2. Spacing | Measuring tape, min 3 m | 3D point clouds TLS and ALS [11–13] |
| 3. Persistence | Measuring tape, min 10 m | 3D point clouds: TLS [5,11,14] Digital Surface Models [15] |
| 4. Roughness | (A) linear profiling method and JRC [16]: Folding straight edge of at least 2 m, in mm Compass and clinometer 10 m of light wire, marks at 1 m (B) compass and disc-clinometer method Geological compass Four thin circular plates (C) photogrammetric method: same as (1) | 3D point clouds [17–21] Photographs [22] Profiles [23] |
| 5. Wall strength | Geological hammer with one tapered end Strong pen knife Schmidt hammer: JCS Facilities for measuring the dry density of the rock | |
| 6. Aperture | Measuring tape of at least 3 m, graduated in mm Feeler gauge White spray paint Equipment for washing the exposed rock | Infill scale-independent classification [24] |
| 7. Filling | Measuring tape of at least 3 m, graduated in mm Folding straight-edge, at least 2 m Plastic bags for taking samples Geological hammer with one tapered end Strong pen knife | Hyperspectral imaging [25] |
| 8. Seepage | Visual observation Air photographs, weather records | TLS [26,27] Photographs Digital Photogrammetry Thermal images [26] |
| 9. N of sets | Based on (1) | Based on (1) |
| 10. Block size | Measuring tape of at least 3 m, graduated in mm | 3D point clouds: TLS [28] SfM [29] |

4. Síntesis y conclusiones

Las nubes de puntos permiten generar modelos tridimensionales que están siendo ampliamente aplicados en muchas áreas, estos modelos tridimensionales permiten observar y analizar cualquier objeto o superficie desde una computadora, permitiendo así manipular los objetos 3D e incluso realizar simulaciones que nos permitan inferir la evolución del objeto a futuro (e.g. simulaciones de flujo, evolución de glaciares o de volcanes), también tiene ventajas en costos y tiempo por un lado porque los drones cada vez son más accesibles y hay una gama importante de distribuidores y por otro lado en poco tiempo se puede cubrir un área considerable.

La aplicabilidad de las nubes de puntos en las geociencias es muy amplia y sin embargo aún hay muchos usos que se les puede dar y que aún no se han desarrollado lo suficiente.

En este proyecto hemos utilizado drones para generar nubes de puntos, con la técnica Structure from Motion, de afloramientos de rocas o de modelos de rocas, para proveer al estudiantado de Ciencias de la Tierra material con el que pueda aprender de manera autónoma y que incluso pueda generar productos cartográficos o modelos tridimensionales de muestras de roca.

5. Referencias citadas

Carrera-Hernández, Jaime Jesús, Levresse, Gilles, Lacan, Pierre, & Aranda-Gómez, José Jorge. (2016). A low cost technique for development of ultra-high resolution topography: application to a dry maar's bottom. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 33(1), 122-133. Recuperado en 13 de febrero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102687742016000100122&lng=es&tlng=en .

Höfle, B., Rutzinger, M., 2011, Topographic airborne LiDAR in geomorphology: a technological perspective, *Z. Geomorphol.*, 55 (55.2), pp. 1-29

McManamon, P. F. (2019). *LiDAR technologies and systems*. SPIE Press. Recuperado de <https://www-spiedigitallibrary-org.pbidi.unam.mx:2443/ebooks/PM/LiDAR-Technologies-and-Systems/eISBN-9781510625402/10.1117/3.2518254?SSO=1>, el día 04 de diciembre de 2020, p.1

Liu, L., Xiao, J., Wang, Y., 2019, Major Orientation Estimation-Based Rock Surface Extraction for 3D Rock-Mass Point Clouds, *Remote Sensing*, 11(6), 1-24, <https://doi.org/10.3390/rs11060635>.

Poullis C., 2013, A Framework for Automatic Modeling from Point Cloud Data, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 35 (11) (2013) 2563–2575, <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2013.64>.

Riquelme, A.J., Abellán, A., Tomás, R., Jaboyedoff, M., 2014, A new approach for semiautomatic rock mass joints recognition from 3D point clouds, *Computer and Geosciences*, 68, 38–52, <https://doi:10.1016/j.cageo.2014.03.014>.

Riquelme, A.J., Abellán, A., Tomás, R., 2015, Discontinuity spacing analysis in rock masses using 3D point clouds, *Engineering Geology*, 195, 185-195, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.06.009>.

Riquelme, A.J., Tomás, R., Cano, J. L., Jordá-Bordehore, L., 2021, Extraction of discontinuity sets of rocky slopes using iPhone-12 derived 3DPC and comparison to TLS and SfM datasets, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 833 012056.

Slob S., and Hack R., 2004, 3D Terrestrial Laser Scanning as a New Field Measurement and Monitoring Technique, *Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe: A European Perspective. Lecture Notes in Earth Sciences*, Vol. 104. publ. Springer-Verlag Heidelberg, 179-189.

Tomás, R., Riquelme, A., Cano, M., Pastor, JL, Pagán, JI, Asensio, JL, Ruffo, M. 2020. Evaluación de la estabilidad de pendientes rocosas utilizando nubes de puntos 3D obtenidas de un vehículo aéreo no tripulado. *Revista de Teledetección*, 55, 1-15. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13168>.

Westoby M.J., Brasington J., Glasser, N.F., Hambrey M.J., Reynolds, J.M., 2012. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>.