

# Comparación de métodos para la reducción de datos LiDAR en la generación de modelos digitales de elevación

REVISTA **MAPPING**  
Vol.32, 212, 16-22  
2023  
ISSN: 1131-9100

*Methods comparison for LiDAR data reduction in the generation of digital elevation models*

Ramiro Alfredo Torrico Irahola

## Resumen

Los Modelos Digitales de Elevación (MDE) se consideran actualmente como una herramienta fundamental para el estudio de la superficie terrestre permitiendo facilitar evaluaciones de ingeniería y en diversas áreas del conocimiento; entre los diferentes métodos para la obtención de data de entrada, la tecnología LiDAR proporciona un proceso de captura de mayor eficiencia y rentabilidad, obteniéndose una nube de puntos que permite la construcción de MDE de mayor resolución y alta calidad; sin embargo, el aumento de la densidad y volumen de dicha nube de puntos es un factor que dificulta el procesamiento de datos y puede generar errores en el MDE; en la actualidad existen diferentes métodos que son utilizados para su reducción. El objetivo principal del presente estudio está dirigido a comparar los métodos de reducción de data LiDAR más relevantes y las nuevas propuestas con la finalidad de establecer cuál de ellos posee mayor factibilidad técnica; con base a los resultados obtenidos se determinó que los métodos que presentan mayor rendimiento en la reducción de data LiDAR son los algoritmos uniformes, el algoritmo RpA y las nuevas propuestas como el método OptD y el método PpC.

## Abstract

*Digital Elevation Models (DEM) are currently considered as a fundamental tool for the study of the earth's surface, allowing to make engineering and scientific evaluations easier. Among the different methods for obtaining input data, LiDAR (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) technology provides a more efficient and cost-effective capture process, obtaining a point cloud that allows the construction of higher resolution and high quality DEMs. However, the increase in the density and volume of the point cloud is a factor that makes data processing difficult and can generate errors in the DEM. Currently, there are different methods that are used for the reduction of LiDAR data. The main objective of this study is to compare the most relevant LiDAR data reduction methods and the new proposals, in order to establish which of them has greater technical feasibility. According to the results obtained, it was determined that the methods with the best performance in LiDAR data reduction are the uniform algorithms, the RpA algorithm and the new proposals such as the OptD method and the PpC method.*

Palabras clave: Modelos Digitales de Elevación (MDE), LiDAR, Algoritmos uniformes, OptD, RpA, PpC.

Keywords: Digital Elevation Models (DEM), LiDAR, Uniform Algorithms, OptD, RpA, PpC.

Ramiro Alfredo Torrico Irahola  
Centro de Investigación, Universidad Martí, Veracruz, México  
[ramirotorrico@umarti.edu.mx](mailto:ramirotorrico@umarti.edu.mx)

Recepción 25/05/2023  
Aprobación 17/06/2023

## 1. INTRODUCCIÓN

Un Modelo Digital de Elevación (MDE) es una representación matemática y espacial de la elevación de la superficie terrestre que permite expresar sus atribuciones morfológicas de manera precisa y exacta. Los MDE son herramientas muy utilizadas en la actualidad, adquiriendo relevancia en diversos campos científicos, que con el pasar de los años han representado una herramienta fundamental en diversas áreas de las geociencias e ingeniería para el modelado y análisis de superficies, planificación territorial y estudios topográficos. (Duque, 2015). La obtención de la data necesaria para la generación de los MDE por lo general se realiza a través de dos metodologías: la directa y la indirecta.

Los métodos directos parten de la obtención de la información directamente de la superficie a estudiar por medio de la altimetría, GPS, métodos topográficos y sistemas láser, esto sin la necesidad de consultar fuentes secundarias de información; en sentido contrario, los métodos indirectos proporcionan información que fue generada previamente a través de la restitución fotogramétrica, autocorrelación de imágenes, digitalización cartográfica de mapas y radar. En tal sentido, se ha podido observar que en las últimas décadas, en sintonía con los avances tecnológicos y la necesidad de mejorar los MDE, la tecnología LiDAR, acrónimo que proviene del inglés *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* que se traduce al castellano como sistema de medición y detección de objetos mediante láser, es un método de obtención de data para la construcción de estos modelos y ha establecido una firme presencia en el medio por brindar un producto final con alta calidad y mayor resolución de manera rentable.

El Sistema LiDAR Aerotransportado en la actualidad es la principal técnica de obtención de datos en la generación de MDE por su alta calidad y precisión de los modelos correspondientes a áreas extensas, esto debido a que proporcionan información 3D de manera eficaz (Yilmaz y Uysal, 2017). La particularidad de la tecnología LiDAR es poder generar una nube de puntos que conserve todas las atribuciones morfológicas propias del terreno bajo estudio, en efecto la nube se conforma con miles de millones de puntos con esta información. En muchos casos, el uso de esta cantidad de puntos no es necesario ni rentable para la obtención de un modelo representativo, aun considerando la medición de alta calidad en periodos cortos de tiempo; en tal sentido, no es factible el uso de toda la data obtenida requiriéndose métodos que reduzcan la nube

de puntos sin poner en riesgo la representatividad de la información (Paredes, Salina, Martínez y Jiménez, 2013).

En el mismo orden de ideas, la fidelidad del MDE como reproducción de un terreno bajo estudio estará sujeta a diversos factores: a) la precisión del modelo, es una función que dependerá de las irregularidades y características de la superficie, b) los métodos de interpolación, y c) los atributos relacionados a los datos de entrada; es decir, la exactitud, densidad y distribución de los mismos (Błaszczak-Bąk y Sobieraj-Żłobińska, 2018). En el primer caso, este factor se maneja a modo de incertidumbre como un aspecto no tangible que pueda ser corregido en el proceso de construcción del modelo al igual que el segundo factor, que estará asociado a los métodos o técnicas empleadas para representar adecuadamente la realidad, y el tercer factor se relaciona directamente con la calidad de medición, filtrado y reducción de la nube de puntos.

Es evidente que con el paso de los años el uso de la Tecnología LiDAR para la obtención de datos de elevación se ha convertido en un procedimiento estándar, y los avances tecnológicos han fomentado la mejora del proceso de obtención de datos causando un aumento en la resolución de los MDE y en la densidad de la nube de puntos. Sin embargo, estos cambios generaron a su vez dificultades en el manejo de la información debido a que la alta densidad de la nube significa un aumento del volumen de datos, ocasionando que procesos como el almacenamiento, procesamiento y manejo de esta información se convierta en una tarea tediosa (Yilmaz y Uysal, 2017). En este sentido, en las últimas décadas el estudio y análisis de diferentes métodos que permitan reducir la cantidad de datos LiDAR para la generación de MDE ha sido un tema de investigación relevante y abordado por diversos profesionales del campo.

Los efectos como resultado de los procesos de reducción propician la construcción del modelo, la optimización del proceso en general, la calidad y representatividad del producto final, a pesar que se trata de un tema que circunda el campo científico desde hace muchos años, pocos son los estudios relacionados en cuanto a metodologías que faciliten y optimicen el proceso de construcción de los MDE basados en la reducción de datos. Algunos autores con el paso del tiempo han favorecido algunas metodologías y otros han realizado estudios propios sobre nuevos métodos; no obstante, este sigue siendo un tema que no ha sido expuesto a fondo y que en la actualidad supondría un aporte significativo para la optimización del proceso de generación de los MDE.

Existen diversas técnicas para la representación digital de terreno considerando la tecnología informática actual; entre ellos los relacionados a la construcción de modelos digitales de elevación (MDE) que consiste en la representación numérica y estadística de la elevación de una superficie a partir de un conjunto de puntos que representan coordenadas X, Y y Z (Li, Zhu y Gold, 2005). De acuerdo a las diferentes concepciones sobre el MDE, este es considerado como una representación simbólica de la realidad construido por medios digitales e informáticos, y se genera a partir de expresiones matemáticas; en efecto, el MDE es un conjunto de datos matemáticos que describen las características de una superficie terrestre, específicamente la variación de la altitud. (Duque, 2015).

Uno de las tecnologías que se utilizan para la para la construcción de los MDE es el LiDAR, este sistema consiste en sensores remotos que obtienen información de la superficie a evaluar mediante millones de impulsos laser que son enviados a dicha superficie, los impulsos enviados retornan al sensor con información de ubicaciones espaciales tridimensionales; es decir, con coordenadas en los ejes «(X, Y, Z)», también el impulso registra información en relación a la naturaleza del objeto con el que tuvo «contacto» (Fagua, Campo y Posada, 2016). Con respecto a la precisión de estos modelos, se han realizado diversos estudios en torno a la identificación y análisis de los factores que afectan la generación de un MDE y a la evaluación de procedimientos que permitan obtener una mayor precisión de estos modelos basados comparaciones entre métodos existentes y las propuestas de nuevas técnicas.

En la mayoría de los estudios se llegó al consenso de que los factores que afectan a la generación de un MDE de calidad son los relacionados a las características topográficas del terreno y las irregularidades que presenta; por ejemplo, en zonas de montaña y de altas pendientes los métodos iterativos son utilizados para su construcción y obtención de características de los datos relacionados al insumo: la precisión, la distribución de los puntos y la densidad de la nube (Buján, González - Ferreiro, Cordero y Miranda, 2019). Asimismo, el sistema de obtención de data LiDAR brinda una gama de beneficios que lo convierten en una tecnología rentable y eficaz; sin embargo, la alta densidad de datos conduce a un aumento en el volumen de puntos a procesar, lo que resulta en un procesamiento de la nube de puntos más complejo de lo requerido.

Por ello, la relevancia de realizar estudios que ofrezcan una solución en cuanto a métodos que

reduzcan la nube de puntos LiDAR y permitan optimizar el proceso de generación de los MDE (Yilmaz y Uysal, 2017); en otras palabras, estos métodos posibilitan una definición más exacta de las zonas de investigación; en consecuencia, facilita la planificación precisa de futuros trabajos y la generación de imágenes del lugar con mapas de alturas e integrarlos con las curvas de nivel (Santecchia y Span, 2020). Por su parte, con respecto a los métodos de reducción, el desarrollo de nuevas tecnologías para la obtención de data de insumo para los MDE, como el sistema de escaneo láser aerotransportado (LiDAR) ofrecen mejorar la calidad de los modelos generados, aumentando la precisión y disminuyendo el tiempo de adquisición de los datos; aun así, esto genera un nuevo desafío al procesamiento de un mayor volumen de datos que contienen información de millones de puntos (Becek y Boguslawsk, 2018).

Debido a que este sistema de obtención suministra un alto volumen de información variada, en muchas ocasiones la densidad de puntos no se ajusta a las necesidades del usuario y el modelo; al trabajar con un volumen tan alto de datos nace la necesidad de reducir esta nube de puntos para garantizar un proceso más eficaz que logre reducir el tiempo de procesamiento sin dejar de lado las características del terreno (Błaszczak-Bąk, 2012). La reducción de esta nube de puntos LiDAR ha sido objeto de debate desde hace muchos años por diversos autores, considerando temas como el efecto de la reducción de datos en el proceso general de construcción de MDE, la comparación de métodos de reducción y la propuesta de nuevas metodologías y algoritmos que permitan optimizar la construcción de estos modelos; actualmente, se conocen varios algoritmos para la reducción de datos con fines de representación cartográfica digital; no obstante, un número reducido son los estudios que proporcionan una respuesta concisa sobre la idoneidad de un método de reducción en comparativa con otro.

Con base en los anteriores planteamientos, este estudio se centra en la comparación de métodos empleados en la reducción de información (nube de millones de puntos) producto de la tecnología LiDAR y que representa el insumo principal para la generación de diferentes MDE. En efecto, se realizará una revisión y selección documental con el objetivo de obtener conocimiento relacionado a cada uno de los métodos de reducción de datos, sus fundamentos y aplicabilidad, a partir de los hallazgos se realizará un análisis comparativo por medio de matrices de pares o matriz de priorización a fin de determinar el método(s) idóneo para la reducción de información.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

El presente estudio comparativo se enfoca en la búsqueda, recopilación y análisis documental en base de datos especializadas con el fin de realizar un estudio comparativo de cada uno de los métodos utilizados para la reducción de data LiDAR que sirve de insumo principal para la generación de diferentes MDE determinando la precisión y exactitud, así como su eficacia en casos particulares. En este sentido, se analizaron diferentes métodos de amplia aceptación en el campo científico y de los cuales han surgido nuevas técnicas, como el método Optimum Dataset; asimismo, se identificó la información de relevancia para su evaluación como método idóneo en la reducción de información.

## 3. RESULTADOS

Como resultado del estudio comparativo se presentan 9 métodos de reducción de datos LiDAR que son la base para la generación de MDE: Algoritmos de Optimización (V-W), Algoritmos uniformes (reducción mediante celdas 3D), Algoritmos aleatorios (Reducción de datos aleatorio), Método OptD (*Optimum Dataset*), Árbol Q (modificado), Algoritmo RpA (Aleatorio por área), Algoritmo SRpC (Semi - Aleatorio por Celda), Algoritmo ThinData y Método PpC (*Proportional per Cell*). La Tabla 1 muestra el resumen de resultados donde C1 es la conservación de las características del terreno, C2 corresponde al nivel de densidad, C3 a las condiciones para la reducción y C4 considera el mayor rendimiento sobre otros métodos.

Tabla 1. Matriz de similitud y diferencia: generalidades y criterios de eficacia y factibilidad de los métodos de reducción

Método	Eficacia	C1	C2	C3	C4
Algoritmo de Optimización (V-W)	La aplicación de un método de reducción optimiza la generación de MDE conservando su precisión. Mantiene las características del terreno. Agiliza el procesamiento de puntos.	Conserva	Reduce	Utiliza	No
Algoritmos uniformes (reducción mediante celdas 3D) <b>Incorporado en el Software Geomagic Studio 12</b>	Reducción hasta un 50% de los datos manteniendo la precisión del MDE. Algoritmo uniforme presenta mayor precisión que el algoritmo aleatorio de acuerdo a las medidas estadísticas de error.	Conserva	Reduce	No utiliza	Si
Algoritmos aleatorios (Reducción de datos aleatorio) <b>Incorporado en el Software Geomagic Studio 12</b>	Reducción hasta un 50% de los datos manteniendo la precisión del MDE.				
Algoritmos aleatorios (Reducción de datos aleatorio) <b>Incorporado en el Software Geomagic Studio 12</b>	Reducción hasta un 50% de los datos manteniendo la precisión del MDE.	Conserva	Reduce	No utiliza	No

OptD (Optimum Dataset)	<p>Genera un MDE optimo y preciso.                  Presenta mejores resultados que el algoritmo de optimización (V-W).                  Conserva las características esenciales del terreno.                  Selecciona el conjunto de datos más favorable.                  Es automático.                  Genera diferentes densidades en base a las características del terreno.                  MDE generado es similar a MDE generados sin la reducción.</p>	Conserva	Reduce	Utiliza	Si
Árbol Q (modificado)	<p>Mantiene las características del terreno.                  Genera un MDE de alta precisión. para diferentes niveles de diezmado.                  Supera en rendimiento al método de aleatorio de referencia.</p>	Conserva	Reduce	Utiliza	Si
RpA (Aleatorio por área) <b><i>Incorporado en el Software R de R Core Team</i></b>	<p>Mantiene las características originales en nubes de puntos reducidas.</p>	Conserva	Reduce	No utiliza	Si
SRpC (Semi - Aleatorio por Celda) <b><i>Incorporado en el Software R de R Core Team</i></b>	<p>No tuvo un buen rendimiento en la distribución de puntos y proporción de puntos terrestres y no terrestres                  Presenta limitaciones para obtener la densidad deseada</p>	No conservó	No reduce	Utiliza	No
Algoritmo ThinData <b><i>Incorporado en el software FUSION</i></b>	<p>No tuvo un buen rendimiento en la distribución de puntos y proporción de puntos terrestres y no terrestres                  Presenta limitaciones para obtener la densidad deseada</p>	No conservó	No reduce	No utiliza	No
PpC (Proportional per Cell)	<p>Mayor rendimiento en cuanto a distribución de puntos, proporción de primera y última devolución, proporción de puntos terrestres y no terrestres, concordancia entre el objetivo y la densidad calculada.                  Mantiene las características originales en nubes de puntos reducidas</p>	Conserva	Reduce	No utiliza	Si

En la tabla anterior se observa que los métodos basados en la reducción a nivel de celda presentan mejores resultados que los otros métodos de la comparativa; ahora bien, algunos presentaron limitaciones mientras que los algoritmos basados en una reducción aleatoria tuvieron un menor rendimiento; por su parte, los algoritmos *SRpC* y *ThinData* no tuvieron un buen rendimiento debido a su cualidad de producir nubes de datos uniformes, obteniendo resultados artificiales y alejados de la realidad. A pesar de que el Algoritmo de Optimización (V-W) es globalmente conocido como un método de reducción de datos en la generalización cartográfica, la investigación no presentó un aporte significativo para el contexto de estudio (no hubo comparación con otros métodos de reducción); no obstante, se evidenció la eficacia en la reducción de datos LiDAR y la optimización de la construcción del MDE.

En relación a los resultados de la eficacia de cada uno de los métodos, se determinaron los siguientes criterios de factibilidad: conservación de las características del terreno, nivel de densidad, condiciones para la reducción y mayor rendimiento sobre otros métodos; la conservación de las características del terreno se refiere a la capacidad del algoritmo en mantener las características esenciales del terreno y garantizando su precisión; el nivel de densidad establece la capacidad del algoritmo de reducir la nube de puntos en diferentes densidades deseadas sin presentar limitaciones. Con respecto, a las condiciones de reducción, este se relaciona con factores o criterios que determinan la reducción de puntos en base a las características del terreno o a favor de un mejor resultado; en última instancia, el mayor rendimiento sobre otros métodos se refiere a la eficacia de este método por encima de los otros algoritmos a los que fue comparado.

Se podría decir que la mayoría de los métodos de reducción cumplen con varias de los criterios establecidos pero el método *OptD* y el algoritmo de Árbol Q modificado, se podría decir que son los únicos que satisfacen todas las condiciones de factibilidad y eficacia. En el mismo sentido, se evidencia que todos los métodos, a excepción de *SRpC* y *ThinData*, mantienen las características del terreno y pueden reducir la nube de puntos en diferentes densidades sin presentar limitaciones; a saber, se esperaba que todos los métodos presentados en la tabla comparativa cumplieran con los criterios de factibilidad y eficacia.

## CONCLUSIONES

En la actualidad los avances tecnológicos buscan una mayor calidad de los datos obtenidos con la tecnología LiDAR, pero por una parte son una ventaja porque permite

construir MDE de precisión conservando sus atributos, y por otra parte es una desventaja para la generación del MDE debido a que aumenta el volumen de datos que deben ser procesados, lo cual resulta en un proceso tedioso y poco rentable. Por tanto, es indudable que el estudio de métodos eficaces para reducir este volumen de datos conservando la calidad de los mismos es una necesidad.

Desde una perspectiva general, los métodos basados en la reducción por celda o que aplican un criterio de reducción obtuvieron excelentes resultados en el estudio; además, de mantenerse por encima de los otros métodos. De acuerdo a los resultados obtenidos los métodos que presentan mayor factibilidad en la reducción de datos LiDAR son: algoritmos uniformes, el método *OptD*, algoritmo *RpA* y el método *PpC*; estos métodos obtuvieron un buen rendimiento en cada uno de los estudios donde fueron evaluados cumpliendo con la mayoría de los criterios establecidos; por lo que, se traduce en una mayor eficacia en la ejecución de su tarea; en relación a los métodos *OptD* y *PpC*, los mismos presentan un alto potencial en la optimización de MDE debido a que son nuevos procedimientos que pretenden dar solución a las limitaciones de otros algoritmos y están desarrollados para mejorar el proceso de reducción basados en la realidad actual.

Los resultados obtenidos en este estudio son producto de un análisis y valoración cualitativa a partir de los resultados de diferentes estudios que no convergen en un caso práctico común; por consiguiente, los resultados y la valoración que se realiza sobre la eficacia y factibilidad de cada uno de los métodos está asociada a cierto margen de incertidumbre y se recomienda realizar nuevos estudios destinados a la evaluación comparativa práctica con el fin de proporcionar una buena base técnica que permita determinar la idoneidad de un método en comparación de otro.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Centro de Investigación de la Universidad Martí por el financiamiento de la presente investigación, y un agradecimiento especial a la Rectora Dra. Erika Carolina Rodríguez Castillo por su colaboración y apoyo en la gestión del proyecto de investigación.

## REFERENCIAS

Becek, K. y Boguslawski, P. (2018). On volume data reduction for LiDAR datasets. *Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4), 40-44. Recuperado de <https://www.int-arch->

- photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-4/41/2018/isprs-archives-XLII-4-41-2018.pdf
- Błaszczak-Bąk, W. (2012). The impact of optimizing the number of points of ALS data set on the accuracy of the generated DTM. *Technical sciences*, 2(15), 265-278. Recuperado de [http://www.uwm.edu.pl/wnt/technicalsc/tech\\_15\\_2/B06.pdf](http://www.uwm.edu.pl/wnt/technicalsc/tech_15_2/B06.pdf)
- Błaszczak-Bąk, W. y Sobieraj-Żłobińska, A. (2018). Standard deviation as the optimization criterion in the OptD method and its influence on the generated DTM. *E3S Web of Conferences*, 63(11), 1-5. Recuperado de [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/38/e3sconf\\_bgc18\\_00011.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/38/e3sconf_bgc18_00011.pdf)
- Buján, S., González-Ferreiro, E., Cordero, M. y Miranda, D. (2019). PpC: a new method to reduce the density of lidar data. Does it affect the DEM accuracy? *The Photogrammetric Record*, 34(167). Recuperado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/phor.12295>
- Duque, J. (2015). Comparación Estadística de Métodos Interpolación Determinísticos y Estocásticos para la generación de Modelos Digitales del Terreno a partir de datos LIDAR, en la parroquia de Tumbabiro, cantón San Miguel de Urucuí, provincia de Imbabura. Recuperado de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3569/1/112296.pdf>
- Fagua, J., Campo, A. y Posada, E. (2016). Desarrollo de dos metodologías para la generación de modelos digitales de terreno (MDT) y superficie (MDS) empleando datos LiDAR y programas de licencia libre. *Tecnologías geoespaciales al servicio del desarrollo territorial*, (49), 82-95. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/303407265\\_Desarrollo\\_de\\_dos\\_metodologias\\_para\\_la\\_generacion\\_de\\_modelos\\_digitales\\_de\\_terreno\\_MDT\\_y\\_superficie\\_MDS\\_empleando\\_datos\\_LiDAR\\_y\\_programas\\_de\\_licencia\\_libre](https://www.researchgate.net/publication/303407265_Desarrollo_de_dos_metodologias_para_la_generacion_de_modelos_digitales_de_terreno_MDT_y_superficie_MDS_empleando_datos_LiDAR_y_programas_de_licencia_libre)
- Li, Z., Zhu, Q. y Gold, C. (2005). Digital terrain modeling: Principles and Methodology. Recuperado de [https://nguyenduylieimgis.files.wordpress.com/2014/11/digital-terrain-modeling-principles-and-methodology\\_2005.pdf](https://nguyenduylieimgis.files.wordpress.com/2014/11/digital-terrain-modeling-principles-and-methodology_2005.pdf)
- Paredes, C., Salina, W., Martínez, X. y Jiménez, S. (2013). Evaluación y comparación de métodos de interpolación determinísticos y probabilísticos para la generación de modelos digitales de elevación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (82), 118-130. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0188461113727900>
- Santecchia, G. y Span, J. (2020). Comparación de dos modelos digitales de elevación generados a partir de un sistema UAV e instrumental GNSS. *Revista Mapping*, 29(201), 50-56. Recuperado de <http://ojs.revistamapping.com/index.php?journal=MAPPING&page=article&op=view&path%5B%5D=330&path%5B%5D=170>
- Yilmaz, M. y Uysal, M. (2017). Comparing uniform and random data reduction methods for DTM accuracy. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 2(1), 9-16. Recuperado de <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijeg/article/286003>
- Yilmaz, M. y Uysal, M. (2017). Comparing uniform and random data reduction methods for DTM accuracy. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 2(1), 9-16. Recuperado de <https://dergipark.org.tr/en/pub/ijeg/article/286003>

## Sobre el autor

### Ramiro Alfredo Torrico Irahola

Realizó estudios de Posdoctorado en Ciencia y Tecnología, y Doctorado en Ingeniería en la Universidad Martí (México), es Posdoctor en Metodología de la Investigación, Socioformación y Desarrollo Humano por el Centro Universitario CIFE (México), Doctor en Educación con la distinción académica «Suma Cum Laude» por la Universidad de Baja California (México), está en posesión del Diploma de Estudios Avanzados que acredita la suficiencia investigadora en el área del conocimiento de Expresión Gráfica en la Ingeniería por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (España), Máster en Administración de Empresas, Máster en Dirección de Recursos Humanos, y Master en Ingeniería del Agua y Gestión de Residuos Urbanos por la Universidad Internacional Isabel I de Castilla (España), Magister en Docencia Universitaria por la Universidad Mayor de San Simón (Bolivia y México), Especialista en Gestión Integrada de Recursos Hídricos por la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (Perú), Especialista en Metodología de la Investigación por la Universidad de Celaya (México), Diplomatura en MDE para el Análisis Morfológico del Terreno y SIG por la Universidad de Buenos Aires (Argentina), Ingeniero Civil por la Universidad Mayor de San Simón (Bolivia, España y México). Actualmente, es investigador adscrito al Centro de Investigación de la Universidad Martí de México.