

Propuesta de algoritmo clasificador de nube de puntos Lidar para obtener el modelo de terreno digital mediante redes neuronales

Oscar Youssef Hill Zoeuin

17 de junio de 2024

RESUMEN

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Palabras Clave: Modelo de Terreno Digital, Puntos Lidar, Redes Neuronales

ABSTRACT

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum. Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Key Words: Modelo de Terreno Digital, Puntos Lidar, Redes Neuronales

1 | Introducción

La topografía, también conocida como geomática, es la disciplina que abarca todos los métodos para medir y recopilar información física acerca de la Tierra y nuestro medio ambiente, procesar esa información y difundir los productos resultantes a una amplia variedad de usuarios [1, 2]. Su importancia radica en sus múltiples aplicaciones en campos como la geomorfología, la edafología, la climatología, la botánica, la zoología y la ecología, entre otros. Estas áreas comúnmente consideran la altitud, la pendiente del terreno y la orientación de las laderas como variables clave para entender numerosos fenómenos [3].

Con la evolución tecnológica, las ciencias han incorporado herramientas cada vez más avanzadas, elevando el alcance y profundidad de sus ramas. En el caso de la topografía, se crearon los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los SIG utilizan conceptos de localización como base para estructurar sistemas de información, y hoy en día son esenciales para tareas como la localización directa y condicionada, análisis de tendencias, planificación de rutas y creación de modelos [4]. Dentro de estos modelos, destacan el Modelo Digital de Superficie (MDS) y el Modelo Digital del Terreno (MDT). Aunque ambos buscan representar la elevación del terreno en 3D, el MDT incluye elementos como edificaciones y vegetación, lo que lo hace más completo y con mayor potencial de aplicación [5].

El MDT se genera a partir de la clasificación de una nube de puntos en 2D creados a partir de datos Lidar, una tecnología de teledetección que utiliza rayos láser para medir distancias y movimientos precisos en tiempo real. La precisión del MDT depende de varios factores, incluidos los datos, los algoritmos y los parámetros elegidos, así como la naturaleza del terreno. Esta herramienta es esencial para la planificación y ejecución de proyectos de ingeniería civil, la construcción de infraestructuras y el diseño de sistemas de drenaje [6].

En el ámbito de la gestión de desastres naturales, un MDT permite predecir con mayor exactitud las áreas que podrían verse afectadas por inundaciones, deslizamientos de tierra u otros eventos catastróficos, mejorando así las estrategias de mitigación y respuesta. En la planificación urbana, el modelo es usado como ayuda para optimizar el uso del suelo y a prevenir problemas futuros relacionados con la topografía del terreno.

Como se puede ver, los MDT son bastante útiles e importantes, es por esto que la precisión es crucial al trabajar con estos modelos. Un estudio de daños por inundaciones realizado por investigadores del "Journal of Flood Risk Management" [6] mostró diferencias de hasta un 180 % en los resultados dependiendo de cómo se generaba el Modelo Digital del Terreno. De aquí podemos rescatar el riesgo existente y el gran salto entre posibles resultados obtenidos al no tener un MDT que represente correctamente al mundo físico. Una consecuencia real de usar estos mode-

los erróneos es la toma de decisiones deficiente, llegando a ser contraproducente e invalidando el punto de generar un MDT en primer lugar.

Desarrollar esta área de la topografía puede reducir significativamente el margen de error, aumentando la confianza en los resultados obtenidos a partir del modelo y eliminando la incertidumbre en casos críticos. Mejorar la precisión de los MDT no solo incrementará la exactitud de las predicciones y análisis, sino que también permitirá tomar decisiones más informadas en diversas disciplinas, incluyendo la planificación urbana, la agricultura de precisión, la gestión de recursos naturales y la respuesta a emergencias.

Dado que la precisión de los MDT depende de la metodología y algoritmos, la complejidad del objetivo y las características de los datos [7], una estrategia para mejorar estos modelos es enfocarse en una de estas áreas y mejorar el alcance actual. Académicos del "European Journal of Remote Sensing" se dedicaron a comparar los distintos algoritmos del momento en casi 100 modelos de terreno con alta densidad de puntos, llegando a que todos obtienen resultados bastante similares [8]. Lo interesante de los algoritmos presentados en el estudio es la ausencia de algún método que implemente las redes neuronales.

Las redes neuronales (RN) son sistemas de aprendizaje automático inspirados en la estructura y funcionamiento del cerebro humano [9]. La importancia de las redes neuronales se encuentra en su capacidad para abordar problemas que son difíciles de resolver usando medios tradicionales, como el reconocimiento de imágenes, el procesamiento del lenguaje natural y la predicción de series temporales [10]. En los próximos años podemos esperar nada menos que el acoplamiento de las RN en más campos de los que uno esperaría, desde módulos de percepción y pilotos automáticos [11] hasta la incorporación de las RN en interpretación y reportes médicos [12].

Recientemente, se está desarrollando este recurso (Machine Learning) en el campo de nube de puntos, ya sea para complementar al MDT en casos como la detección de crecimiento de árboles [13] o directamente para una fusión multispectral y Lidar para una clasificación de puntos [14]. En este contexto, las redes neuronales se presentan como una herramienta prometedora para la clasificación de puntos en nubes de datos Lidar, junto a la generación de un Modelo Digital del Terreno que refleje fielmente el mundo real [15]. Con su capacidad para aprender y adaptarse a patrones complejos en los datos, son ideales para mejorar la exactitud y eficiencia en la generación de modelos. Es por esto que en este trabajo se va a buscar implementar a las redes neuronales para generar un nuevo algoritmo capaz de clasificar una nube de puntos Lidar a partir de datos extraídos de la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

Con el uso de estas tecnologías avanzadas, se puede anticipar un futuro en el que los MDT sean herramientas aún más poderosas y precisas, transformando la manera en que

interactuamos con nuestro entorno físico. Pero hablando de periodos de tiempo mas cercanos, el uso de redes neuronales en esta área puede dejar un precedente en el uso de gemelos digitales ¹ en lugares urbanos como lo es Guayaquil.

2 | Marco Teórico

2.1. Antecedentes

La tecnología LiDAR ha evolucionado significativamente desde sus inicios, revolucionando la forma en que se capturan y analizan los datos geoespaciales. Inicialmente utilizada en aplicaciones militares, su uso se ha extendido a diversos campos, como la topografía, la arqueología y la gestión de recursos naturales. Los modelos digitales de terreno, por su parte, han pasado de ser representaciones básicas del terreno a modelos altamente precisos gracias a los avances en la resolución y en las técnicas de procesamiento de datos.

2.2. Conceptos Clave

LiDAR, o Light Detection and Ranging, es una tecnología que utiliza pulsos de luz láser para medir distancias y crear mapas tridimensionales de la superficie terrestre. Las nubes de puntos son conjuntos de datos tridimensionales generados por escaneos LiDAR, que contienen información sobre la posición y altura de cada punto. Los modelos digitales de terreno (MTD) son representaciones tridimensionales del terreno que excluyen estructuras sobre la superficie, mientras que las redes neuronales son sistemas de aprendizaje automático que imitan el funcionamiento del cerebro humano para procesar datos complejos y encontrar patrones.

2.3. Teorías Relevantes

La teoría del procesamiento de datos geoespaciales se centra en cómo se pueden recolectar, procesar y analizar datos espaciales para obtener información útil. En el contexto de la inteligencia artificial, las redes neuronales y el aprendizaje profundo son teorías que han revolucionado el análisis de grandes volúmenes de datos. Las redes neuronales, inspiradas en la estructura del cerebro humano, son particularmente efectivas en la clasificación y el reconocimiento de patrones, lo que las hace ideales para mejorar la precisión de los modelos digitales de terreno.

2.4. Estudios Previos

Numerosos estudios han investigado el uso de LiDAR para la creación de modelos digitales de terreno. Por ejemplo, Smith et al. (2018) demostraron que el uso de LiDAR

aéreo puede proporcionar modelos de alta resolución que son esenciales para la planificación urbana. Por otro lado, investigaciones recientes han explorado el uso de redes neuronales para mejorar la clasificación de nubes de puntos LiDAR, como el estudio de Zhang y Wang (2020), que mostró una mejora significativa en la precisión de los modelos al integrar técnicas de aprendizaje profundo.

2.5. Resumen

En resumen, el marco teórico proporciona una base sólida para entender la importancia de la tecnología LiDAR, los modelos digitales de terreno y las redes neuronales en el contexto de esta investigación. La revisión de la literatura ha demostrado la necesidad de mejorar la precisión de los MTD y ha identificado las redes neuronales como una solución prometedora. Este marco teórico guía las metodologías adoptadas en este estudio, asegurando que las técnicas y enfoques utilizados estén bien fundamentados en investigaciones previas y teorías establecidas.

3 | Methodology

3.1. Revisión Bibliográfica

Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre métodos de generación de MTDs y el uso de redes neuronales en la clasificación de nubes de puntos.

3.2. Diseño del Algoritmo

Se diseñará y entrenará una red neuronal utilizando un conjunto de datos de alta densidad de puntos. Se utilizarán técnicas de preprocesamiento y optimización para mejorar la precisión del modelo.

3.3. Evaluación y Comparación

El algoritmo desarrollado será evaluado utilizando métricas de precisión y comparado con algoritmos tradicionales. Se analizarán los resultados para identificar áreas de mejora.

3.4. Implementación y Validación

Se implementará el algoritmo en un entorno práctico y se validará su desempeño en proyectos reales.

3.5. Predicciones

Se espera desarrollar un algoritmo que, aunque no sea superior en todas las métricas (como tiempo de procesamiento, uso de recursos, etc.), ofrezca una mejora significativa en la precisión de clasificación de nubes de puntos de alta densidad.

¹Modelo que busca la representación virtual de un objeto

4 | Results

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula. Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur. Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

5 | Discussion

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula. Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur. Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae,

arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

6 | Conclusion

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula. Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur. Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Referencias

- [1] DE LLALLAGUA LA CARRETERA CALAMARCA-SANTIAGO. «FACULTAD DE TECNOLOGÍA GEODESIA, TOPOGRAFÍA Y GEOMATICA». En: ().
- [2] Blagoja Markoski y Blagoja Markoski. *Basic principles of topography*. Springer, 2018.
- [3] Angel M. Felicísimo. «Modelos Digitales del Terreno». En: (), págs. 1-3. DOI: <https://www.thedigitalmap.com/EasyDEM/ayuda/html/documentos/libroMDTFelicisimo.pdf>.
- [4] Nishant Singh y Sunil Kumar Katiyar. «Application of geographical information system (GIS) in reducing accident blackspots and in planning of a safer urban road network: A review». En: *Ecological Informatics* 66 (2021), pág. 101436. ISSN: 1574-9541. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101436>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1574954121002272>.
- [5] Chiara Arrighi y Lorenzo Campo. «Effects of digital terrain model uncertainties on high-resolution urban flood damage assessment». En: *Journal of Flood Risk Management* 12.S2 (2019), e12530. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12530>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/jfr3.12530>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfr3.12530>.
- [6] Mahmoud El Nokrashy O. Ali y col. «Generation of digital terrain model from multispectral LiDAR using different ground filtering techniques». En: *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 24.2 (2021), págs. 181-189. ISSN: 1110-9823. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.12.004>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982320303525>.
- [7] B. Velázquez-Martí J. Estornell L.A. Ruiz y T. Hermosilla. «Analysis of the factors affecting LiDAR DTM accuracy in a steep shrub area». En: *International Journal of Digital Earth* 4.6 (2011), págs. 521-538. DOI: 10.1080/17538947.2010.533201. eprint: <https://doi.org/10.1080/17538947.2010.533201>. URL: <https://doi.org/10.1080/17538947.2010.533201>.
- [8] Radomir Balazy Krzysztof Stereńczak Mariusz Ciesielski y Tomasz Zawitła-Niedźwiecki. «Comparison of various algorithms for DTM interpolation from LIDAR data in dense mountain forests». En: *European Journal of Remote Sensing* 49.1 (2016), págs. 599-621. DOI: 10.5721 / EuJRS20164932. eprint: <https://doi.org/10.5721 / EuJRS20164932>. URL: <https://doi.org/10.5721 / EuJRS20164932>.
- [9] Kevin Gurney. *An introduction to neural networks*. CRC press, 2018.
- [10] Laith Alzubaidi y col. «Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions». En: *Journal of Big Data* 8 (2021). URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:232434552>.
- [11] Xiaowei Huang y col. «Safety Verification of Deep Neural Networks». En: *Computer Aided Verification*. Ed. por Rupak Majumdar y Viktor Kunčák. Cham: Springer International Publishing, 2017, págs. 3-29. ISBN: 978-3-319-63387-9.
- [12] Misgana Negassi y col. «Application of artificial neural networks for automated analysis of cystoscopic images: a review of the current status and future prospects». En: *World Journal of Urology* 38 (oct. de 2020). DOI: 10.1007/s00345-019-03059-0.
- [13] Zhenbang Hao y col. «Automated tree-crown and height detection in a young forest plantation using mask region-based convolutional neural network (Mask R-CNN)». En: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 178 (2021), págs. 112-123. ISSN: 0924-2716. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.06.003>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271621001611>.
- [14] Robert Van Alphen y col. «UAV-Based Wetland Monitoring: Multispectral and Lidar Fusion with Random Forest Classification». En: *Drones* 8.3 (2024). ISSN: 2504-446X. DOI: 10.3390/drones8030113. URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/8/3/113>.
- [15] Ahmed Diab, Rasha Kashef y Ahmed Shaker. «Deep Learning for LiDAR Point Cloud Classification in Remote Sensing». En: *Sensors* 22.20 (2022). ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s22207868. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/20/7868>.