

# **Técnicas geomáticas como herramienta en el estudio de desprendimientos rocosos**

N. Lantada<sup>1</sup>, M.A. Núñez-Andrés<sup>2</sup>, J. Corominas<sup>1</sup>, A. Prades<sup>2</sup>, G. Matas<sup>1</sup>, F. Buill<sup>2</sup>, J.A. Gili<sup>1</sup>, R. Ruiz-Carulla<sup>1</sup>, C. Puig-Polo<sup>1</sup> y J. Moya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya. C/ Jordi Girona, 1-3, Edificio D2 Campus Nord, 08034 Barcelona, España.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya. Av. Doctor Marañón 44-50, 08028 Barcelona, España.

Palabras clave: monitorización, caracterización, fotogrametría, láser escáner, SIG.

## **RESUMEN**

Los desprendimientos de rocas son fenómenos naturales que se producen de forma muy puntual en el tiempo, y que por lo general afectan a infraestructuras con alto impacto económico y social para la población. Por ello, el grupo de investigación de Ingeniería Geomática (EGEO) de la *Universitat Politècnica de Catalunya* está trabajando desde 2014 en los proyectos nacionales de investigación RockRisk, RockModels y GeoRisk, dirigidos al estudio de estos desprendimientos, mediante técnicas y métodos del ámbito de la ingeniería geomática. La geomática ha resultado ser imprescindible para la previa caracterización y monitorización continua de las paredes rocosas, permitiendo detectar movimientos precursores, caídas de bloques, la cuantificación del volumen desprendido y los fragmentos producidos. Por otro lado, las herramientas SIG son de gran utilidad para la simulación de las trayectorias de los bloques, y para la posterior cuantificación del riesgo. El objetivo es disponer de la información para cuantificar este tipo de riesgos en el territorio, y ayudar así en la prevención y el diseño de medidas protectoras de los elementos expuestos a desprendimientos.

## **INTRODUCCIÓN**

Los recursos tecnológicos en el ámbito de la geomática han sufrido en la última década una evolución sin precedentes, proporcionando un aumento de la cantidad y calidad de la información espacial que puede obtenerse para el análisis del terreno. Las plataformas SIG, combinadas con la automatización de procesos y la programación de código abierto, ofrecen un amplio potencial en este análisis. En este artículo se mostrarán algunos ejemplos del empleo de estas técnicas geomáticas aplicadas al estudio de los desprendimientos rocosos.

El riesgo frente a un evento natural, como son estos fenómenos, se define como la pérdida o daño anual esperado expresado según criterios humanos (fallecidos, heridos o desalojados), económicos o estructurales o incluso ecológicos (Ayala-Carcedo, 2002). Para llegar a estimarlo, se debe evaluar antes la peligrosidad, es decir, la probabilidad de ocurrencia del evento en un periodo de tiempo específico y una zona determinada; y por otro lado la probabilidad de alcance a elementos expuestos de diferente vulnerabilidad, condicionada por la trayectoria de los bloques caídos y los posibles fragmentos generados durante su recorrido. En sus trayectorias influirá la interacción con la cobertura del suelo, presencia de obstáculos, etc.

Con esta información se estima el daño potencial de los elementos expuestos: la propia infraestructura, personas, vehículos, etc., para cada uno de los escenarios planteados. El resultado final se muestra como el daño para cada tramo de vía en términos económicos o personales, que en caso de no considerarse aceptable, deberán adoptarse medidas de mitigación.

### **MONITORIZACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS**

La estimación de la probabilidad de ocurrencia pasa por disponer de inventarios (Núñez-Andrés et al., 2022) que permitan saber cuándo ocurrió un evento y su magnitud. Para obtener esta información se llevan a cabo campañas de control, generalmente empleando TLS. La comparación de nubes de puntos en campañas multitemporales permite obtener el volumen desprendido (Núñez-Andrés et al., 2019), y con registros de suficiente rango temporal las curvas magnitud-frecuencia (Janeras et al., 2021). En caso de no disponer de estos datos deberían extraerse por fotointerpretación en ortofotos históricas (Fig. 1).

En campañas puntuales se pueden detectar movimientos premonitorios, pero sin la capacidad de realizar un seguimiento exhaustivo puesto que para ello es necesario medir en continuo. Para ello, dado el alto coste del TLS, se suele emplear fotogrametría, bien por comparación de los modelos 3D (Blanch et al. 2021), bien detectando el movimiento directamente sobre la imagen. Este último método es usado en Castellfollit de la Roca, a través de la colocación de tres cámaras controladas en remoto (Matas et al., 2022). Las imágenes se procesan por correlación cruzada, obteniendo los vectores de movimiento proyectados y detección de cambios tras la caída del bloque. El modelo fotogramétrico permite medir el movimiento en verdadera magnitud.

### **SIMULADOR DE TRAYECTORIAS DE BLOQUES, ROCKGIS**

El equipo de investigación ha desarrollado, con código libre, un simulador 3D de trayectorias de bloques, denominado RockGIS, que considera la fragmentación de los bloques a lo largo de su recorrido (Matas et al., 2020). En este tipo de simuladores se emplean modelos digitales de elevaciones, y tienen en cuenta el ángulo aparente de fricción que presenta la superficie de contacto entre el terreno y el bloque desprendido. Por lo que es conveniente disponer de modelos de distribución espacial de la rugosidad de la ladera. Para la caracterización de dicha rugosidad, existen diferentes metodologías, en nuestro caso la opción adoptada ha sido calcular una estadística básica de las alturas en entornos de radio variable. La rugosidad se entiende como una magnitud dependiente de la escala a la que se observa y, por ello, el resultado que damos es en forma vectorial. Cada una de las componentes de este vector es una representación de la rugosidad medida a una cierta escala. Para reducir el tiempo de cómputo, que esto supone, se ha dividido la superficie *octrees*.

Uno de los resultados de RockGIS son mapas de puntos de parada de los bloques, y mapas ráster de frecuencia de paso y energías de los bloques o fragmentos que pasan por cada uno de los píxeles. Para automatizar la entrada de datos al simulador, así como la visualización de sus resultados, se han desarrollado herramientas con código libre en entorno SIG. Como ejemplo, una de ellas genera, a partir de diferentes geometrías de entrada en QGIS, un fichero compatible con el simulador que contiene una distribución espacial de puntos de salida de desprendimientos. Otra herramienta similar, introduce líneas que representan barreras de determinada altura, para simular la parada de los bloques que impacten en ellas.

## **EVALUACIÓN CUANTITATIVA DEL RIESGO**

El riesgo de caída de rocas se define a partir de los componentes de frecuencia, probabilidad de alcance, exposición y vulnerabilidad. La frecuencia anual de eventos se establece a partir de curvas magnitud-frecuencia comentadas en el apartado de monitorización; la probabilidad de alcance se calcula mediante el simulador RockGIS (visto en la sección anterior). La probabilidad de exposición se estima a partir de las características particulares de los diferentes elementos expuestos y en los escenarios planteados. Mediante curvas de vulnerabilidad de cada elemento expuesto se valora la intensidad de los daños en términos económicos o número de muertes. El riesgo para los diferentes escenarios se visualiza en forma de mapas o perfiles (Fig. 2), tramificando la carretera en función del nivel de riesgo calculado, útiles como instrumento para la adopción de medidas preventivas y de mitigación.

## **CONCLUSIONES**

Técnicas geomáticas, como la fotogrametría o el láser escáner, nos dotan de información sobre el macizo rocoso completa, detallada y de calidad. También son muy idóneas para monitorizar las paredes, bien en campañas puntuales o en continuo, obteniendo información de los volúmenes caídos. Con esta información se ajustan las curvas Magnitud-Frecuencia, que permiten establecer la probabilidad de que ocurra un evento de determinada magnitud en un periodo determinado de tiempo. El empleo de estas técnicas sustituye los trabajos que venían realizando hasta ahora, al pie del macizo rocoso, los técnicos y expertos involucrados, disminuyendo significativamente la exposición de estas personas al peligro.

En base a toda la información disponible del macizo rocoso, se ha desarrollado un simulador de trayectorias 3D y una metodología objetiva de evaluación cuantitativa del riesgo para estructuras lineales frente a eventos de caídas de roca. Gracias a las herramientas SIG, esta metodología es reproducible a diferentes escalas de trabajo, y comparable en diferentes casos de aplicación y escenarios.

## **AGRADECIMIENTOS**

Trabajo realizado en el Proyecto de Investigación “Avances en el análisis cuantitativo del riesgo de caída de rocas (QRA) incorporando desarrollos en geomática (GeoRisk) PID2019-103974RB-I00”, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033, Ministerio de Ciencia e Innovación (MCIN) y la Agencia Estatal de Investigación (AEI).

## **REFERENCIAS**

Ayala-Carcedo, F.J. 2002. Introducción al análisis y gestión de riesgos. p.133-144. Riesgos naturales. Ariel, Barcelona.

Blanch, X., Eltner, A., Guinau, M. and Abellan A. 2021. Multi-Epoch and Multi-Imagery (MEMI) Photogrammetric Workflow for Enhanced Change Detection Using Time-Lapse Cameras. Remote Sens. 13:1460. <https://doi.org/10.3390/rs13081460>

Janeras, M., Pedraza, O., Lantada, N., Núñez-Andrés, M.A., Hantz, D. and Palau, J. 2021. TLS- and inventory-based Magnitude – Frequency relationship for rockfall in Montserrat and Castellfollit de la Roca. Actas 5th Rock Slope Stability Symposium.

Matas, G., Lantada, N., Corominas, J., Gili, J.A., Ruiz-Carulla, R. and Prades, A. 2020. Simulation of full-scale rockfall tests with a fragmentation model. *Geosciences*, 10:5:168, <https://doi.org/10.3390/geosciences10050168>

Matas, G., Prades, A., Núñez-Andrés, M.A., Buill, F. and Lantada, N. 2022. Implementation of a fixed-location time lapse photogrammetric rock slope monitoring system in Castellfollit de la Roca, Spain. *Actas 5th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM 2022)*.

Núñez-Andrés, M.A., Buill, F., Puig, C., Lantada, N., Prades, A., Janeras, M. and Gili, J.A. 2019. Comparison of geomatic techniques for rockfall monitoring. *Proceedings 4th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*

Núñez-Andrés, M.A., Lantada, N. and Martínez, J.C. 2022. Spatial data Infrastructure (SDI) for inventory rockfalls with fragmentation information. *Natural Hazards*. 112:2649-2672. DOI: 10.1007/s11069-022-05282-2.

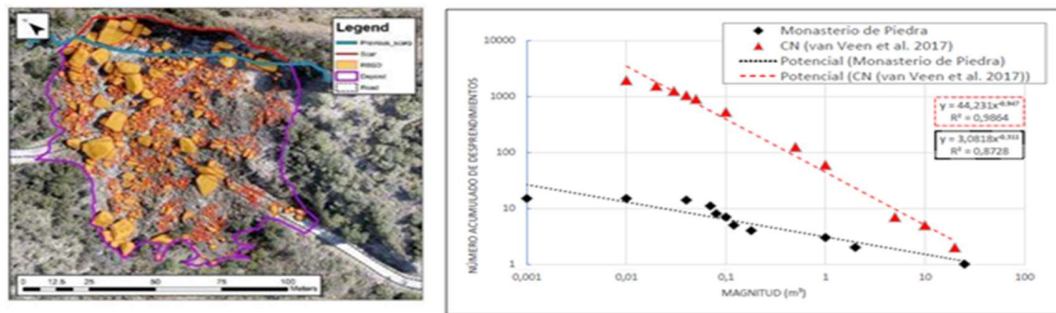


Fig. 1. Bloques (en color naranja) con diferente volumen en un depósito (delimitado con línea en color morado), digitalizados sobre ortofoto (izquierda) y ejemplo de dos curvas M-F (derecha) en escala logarítmica para ambos ejes (x, y)

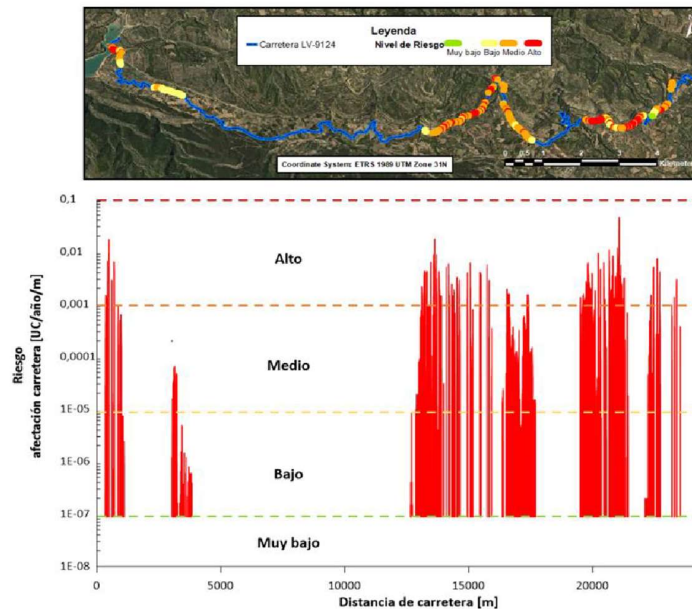


Fig. 2. Mapa y perfil de riesgo de desprendimiento para cada tramo de carretera