

Aplicación de A-DInSAR al análisis de movimientos del terreno: un caso de estudio en Asturias (N España)

A-DInSAR application in the ground motion analysis: a study case in Asturias (N Spain)

José Cuervas-Mons^{1*}, María José Domínguez-Cuesta¹, Jerymy Antonio Carrillo¹, Félix Mateos-Redondo², Oriol Monserrat³ y Anna Barra³.

¹ Departamento de Geología. Universidad de Oviedo, C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo (España);

jcuervas@geol.uniovi.es, dominguezmaria@uniovi.es, uo259533@uniovi.es

² GEA Asesoría Geológica—S. COOP ASTUR, 33192 Llanera, Spain;

felix@geaasesoriageologica.com

³ División de Geomática, CTTC/CERCA, 08860 Castelldefels, España.

omonserrat@cttc.cat, anna.barra@cttc.cat

*Corresponding author

ABSTRACT

In this work, A-DInSAR (Advanced-Differential SAR Interferometry) techniques have been applied to study ground motion in the surroundings of Boo, Asturias (N Spain). For this purpose, 57 SAR images from the Sentinel-1 A satellite were processed between February 2018 and January 2020 by means of the PSIG (Persistent Scatterer Interferometry of Geomatics Division of CTTC) software. The results allowed identifying mean deformation velocities in the Line-of-Sight direction (LOS) ranging from -35.9 to 13.5 mm year⁻¹. The evidence detected during the fieldwork has allowed relating these velocities with small slope movements and structural pathologies of houses and buildings. This study reveals the usefulness of A-DInSAR techniques for the study and analysis of slope stability in urban environments.

Key-words: A-DInSAR, Sentinel-1, Slope stability, Boo.

Geogaceta, 74 (2023), 95-98

<https://doi.org/10.55407/geogaceta98230>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Introducción y objetivos

Desde el comienzo del siglo XXI, las técnicas A-DInSAR (Interferometría SAR Diferencial Avanzadas) se han constituido como poderosas herramientas en la detección, modelización y monitorización de movimientos del terreno (Ferreti *et al.*, 2000; Berardino *et al.*, 2002; Mora *et al.*, 2003). La implementación de estas técnicas en estudios sobre movimientos del terreno asociados a minería subterránea es ampliamente conocida, ya que presentan una alta resolución espacial y temporal (Herrera *et al.*, 2007; Graniczny *et al.*, 2014; Pawluszek-Filipiak y Borkowski, 2020).

El área de estudio se ubica en la población de Boo, localizada en el municipio de Aller, zona centro de Asturias, España (Fig. 1). Esta población, con 486 habitantes, se caracteriza por presentar fuertes pendientes en superficie y haber sido una zona de explotación sub-

RESUMEN

En este trabajo se han aplicado las técnicas A-DInSAR (Interferometría SAR Diferencial Avanzadas) para estudiar los movimientos del terreno en el entorno de Boo, Asturias (N España). Para ello se procesaron 57 imágenes SAR del satélite Sentinel-1 A entre febrero de 2018 y enero de 2020 por medio del software PSIG (Persistent Scatterer Interferometry de la División de Geomática del CTTC). Los resultados permitieron identificar velocidades medias de deformación en la dirección suelo-satélite (LOS) que van desde $-35,9$ hasta $13,5$ mm/año. Las evidencias detectadas durante el trabajo de campo han permitido relacionar estas velocidades con movimientos de ladera de pequeñas dimensiones y con patologías estructurales de viviendas y edificaciones. Este estudio pone de manifiesto la utilidad de las técnicas A-DInSAR para el estudio y análisis de estabilidad de laderas en entornos urbanos.

Palabras clave: A-DInSAR, Sentinel-1, Estabilidad de laderas, Boo.

Fecha de recepción: 01/02/2023

Fecha de revisión: 20/04/2023

Fecha de aceptación: 26/05/2023

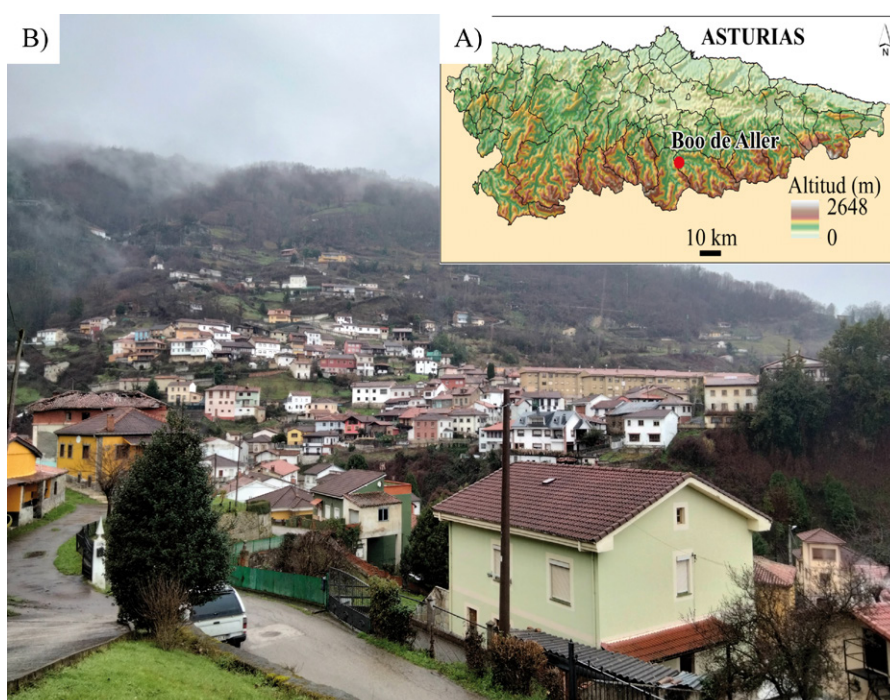


Fig. 1.- A) Localización geográfica y B) Panorámica de la población de Boo (Aller, Asturias).
Fig. 1.- A) Geographical location and B) Overview of Boo village (Aller, Asturias).

terránea de carbón entre 1992 y 2006 (González-Nicieza *et al.*, 2007). En esta población han tenido lugar diferentes inestabilidades del terreno: un deslizamiento en mayo de 1991 (Laguna-Megal y Mulas de la Peña, 1992); la aparición y desarrollo de grietas en enero de 2011 y 2012, un proceso de subsidencia/colapso en febrero de 2014 y un desprendimiento con una persona fallecida en 2019 (Valenzuela *et al.*, 2017). González-Nicieza *et al.* (2007) estimaron una subsidencia de 700 mm entre 1992 y 1999, mientras que Riesgo-Fernández *et al.* (2020) estimaron deformaciones tensionales horizontales de hasta 2 mm/m, las cuales fueron relacionadas con deslizamientos y subsidencia natural producida por la variación del nivel freático.

Las capas de carbón explotadas en el área de estudio de este trabajo, aparecen referidas en publicaciones previas de González-Nicieza *et al.* (2007) y Riesgo-Fernández *et al.* (2020). Sin embargo, al tratarse de un entorno urbano con presencia de galerías subterráneas de explotación del carbón, existe un alto grado de confidencialidad sobre los datos mineros y geológicos asociados a las explotaciones mineras.

Desde el punto de vista geológico, Boo se localiza en la Cuenca Carbonífera Central (Zona Cantábrica) (Fig. 1B). Los materiales geológicos consisten en una alternancia de areniscas, areniscas lutíticas y lutitas con intercalaciones de capas de carbón, pertenecientes al Paquete María Luisa, de edad Carbonífero Superior (Velando *et al.*, 1973). Los depósitos cuaternarios son principalmente coluviones de matriz limo-arcillosa con cantos de lutitas y areniscas. El carbón explotado en Boo corresponde a las capas Molino y Mariana, con espesores de 0,8 a 2 m, inclinación media de 32° y entre los 8 y 181 m s.n.m. (González-Nicieza *et al.*, 2007; Riesgo-Fernández *et al.*, 2020).

El objetivo de este trabajo es aplicar técnicas A-DInSAR para detectar movimientos del terreno en Boo y su entorno.

Metodología

El procedimiento metodológico seguido en este trabajo ha sido el siguiente (Fig. 2): 1) descarga y procesado de 57 imágenes SLC IW SAR del satélite Sentinel-1 A en órbita descendente mediante el software PSIG (Persistent Scatterer Interferometry of Geomatics Division),

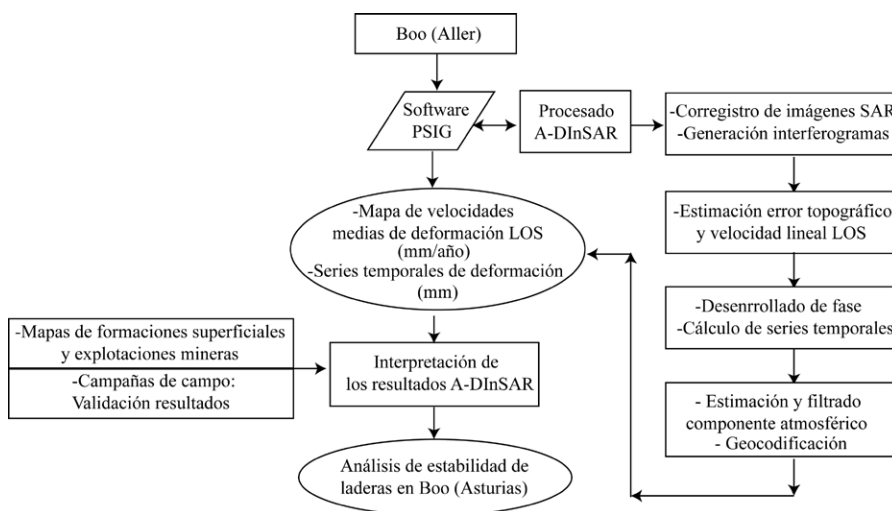


Fig. 2.- Procedimiento metodológico seguido en este trabajo.

Fig. 2.- Methodological procedure followed in this work.

diseñado por el Centro Tecnológico de Telecomunicaciones de Cataluña (CTTC) (Biescas *et al.*, 2007; Devánthery *et al.*, 2014); 2) obtención de un mapa de velocidades medias de deformación LOS (Line-of-Sight) en mm/año y de series temporales de deformación en mm; 3) recopilación de mapas de formaciones superficiales 1:25000 del Principado de Asturias y posición de las explotaciones mineras subterráneas (González-Nicieza *et al.*, 2007); 3) combinación y análisis de los resultados A-DInSAR con información geoespacial en un Sistema de Información Geográfica (SIG); 4) validación de los resultados A-DInSAR mediante campañas de campo y 5) interpretación de los resultados obtenidos.

El procesado A-DInSAR ha supuesto las siguientes etapas (Fig. 2): 1) Corregistro de las 57 imágenes SAR descargadas y generación de 508 interferogramas enrollados; 2) estimación del error topográfico y de la velocidad lineal LOS sobre un grupo de puntos seleccionados; 3) desenrollado de las fases para cada interferograma y cálculo de las series temporales de deformación; 4) estimación y filtrado del componente atmosférico y 5) geo-codificación de los puntos medidos y exportación a un SIG.

Resultados y discusión

Referente al mapa de velocidades medias de deformación LOS (mm/año), se obtuvieron un total de 426 puntos, cuyas velocidades medias LOS varían entre -35,9 y 13,5 mm/año. La mayoría de puntos han sido medidos sobre las poblaciones de Boo y Bustillé (Fig. 3). Otros

puntos fueron medidos sobre edificaciones aisladas y dispersas a lo largo del área de estudio.

Los ratios de velocidades LOS comprendidos entre -35,9 y -6,0 mm/año (25 PS, 5,87%) fueron detectados principalmente como un grupo de puntos en la zona más occidental de la población de Boo (Fig. 3). En la zona donde fueron medidos estos puntos se observó una vivienda abandonada con evidencias de haber sufrido asientos diferenciales y con múltiples daños estructurales. (Fig. 3 y Fig. 4A).

Por otro lado, puntos no activos (VLOS \leq 6,0 mm/año; 327 PS, 76,76%) fueron medidos en gran parte de Boo y Bustillé así como en diferentes edificaciones aisladas y dispersas a lo largo de la zona de estudio (Fig. 3). Algunos de estos puntos han sido medidos sobre la posición en profundidad de trabajos mineros que explotaron la capa Molinos, correspondiendo con el 3º nivel de Molino oeste (Fig. 3) (González-Nicieza *et al.*, 2007).

Con respecto a los puntos con velocidades LOS superiores a 6 mm/año (74 PS, 17,37%), estos se ubican sobretodo en el centro y en el norte de Boo (3º nivel de Molino oeste, Fig. 3). Durante la revisión de estos puntos en el campo, se han encontrado escasas evidencias de movimiento. Únicamente algunas grietas tensionales de pequeña longitud (unos pocos metros de largo) y con anchos milimétricos. Sin embargo, en la zona central del pueblo se observaron grietas abiertas en muros (Fig. 4B) y dos edificios abandonados con daños estructurales y grietas completamente abiertas (Fig. 3 y Fig. 4C-D). Estos edifi-

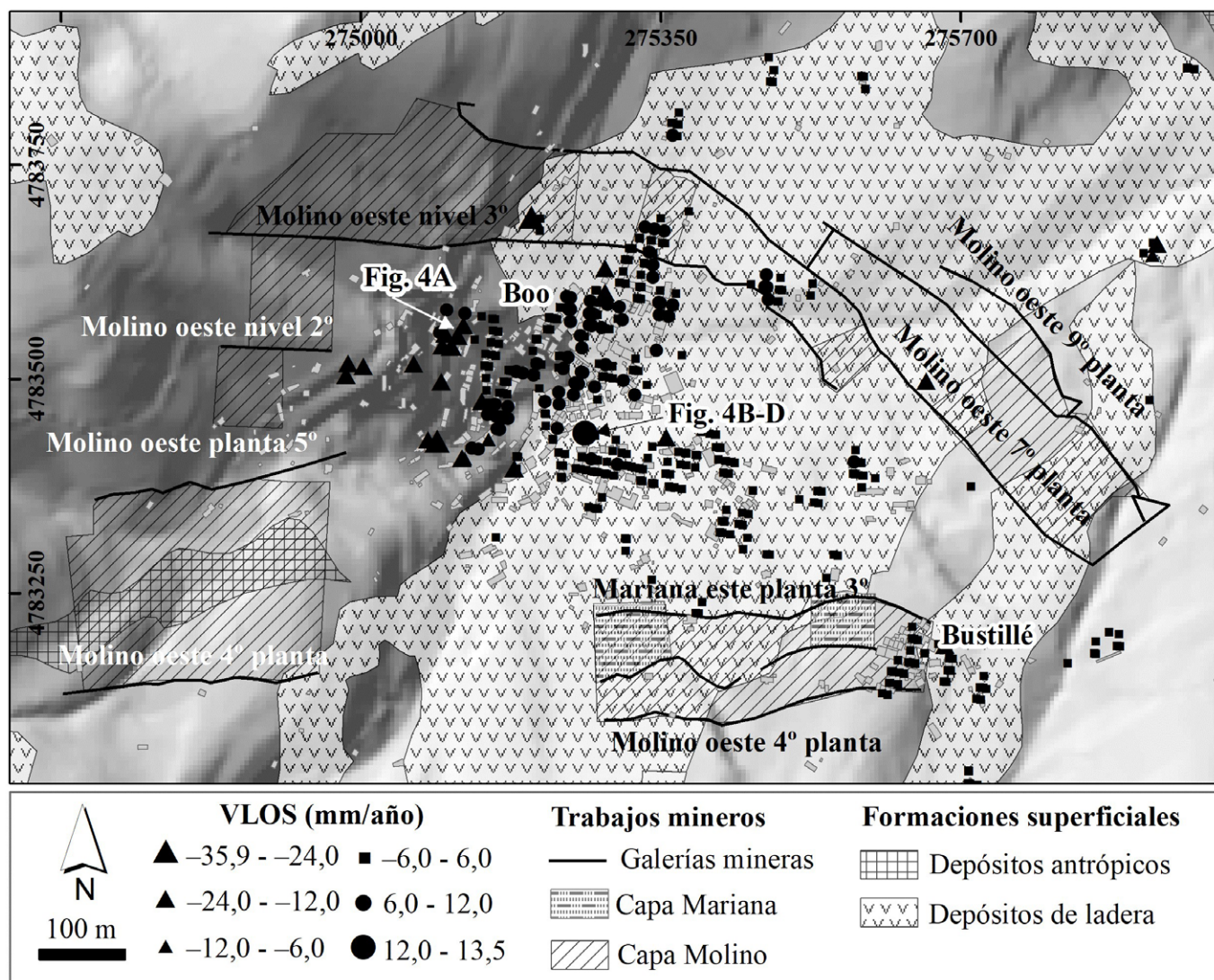


Fig. 3.- Mapa de velocidades medias de deformación LOS (mm/año), capas de carbón Mariana y Molino explotadas (González-Nicieza et al., 2007) y formaciones superficiales.

Fig. 3.- LOS mean deformation velocity map (mm/year), exploited coal Mariana y Molino layers (González-Nicieza et al., 2007) and surficial formations.

cios además presentaban evidencias de asentamientos diferenciales. Las deformaciones detectadas en campo han sido halladas en zonas donde, no existe referencia a la presencia de explotaciones mineras subterráneas (González-Nicieza et al., 2007; Riesgo-Fernández et al., 2020), habiendo únicamente cartografiados depósitos de ladera en superficie. Estos depósitos consisten en coluviones limo-arcillosos. En el caso de Bustillé, donde se han detectado velocidades LOS entre -6,0 y 6,0 mm/año, no se han observado evidencias de movimiento durante el reconocimiento de campo. Esta población está situada en el sector minero de Molino oeste (4º planta) (Fig. 3).

Es necesario destacar que, debido a la falta de adecuados reflectores naturales o artificiales que permitan reflejar la señal SAR, hay diferentes sectores en la zona de estudio donde no se han medido

puntos (trabajos mineros Molino oeste 2º nivel, 4º, 5º, 7º y 9º plantas y Mariana este, planta 3º) y, por tanto, no pueden ser analizados (Fig. 3).

Las observaciones realizadas en el campo, permiten relacionar algunas de las deformaciones y patologías detectadas en las construcciones con procesos de ladera originados por la acción de la gravedad o a defectos de construcción, no habiéndose encontrado evidencias que permitan relacionarlas con la actividad minera subterránea. En esta línea, Riesgo-Fernández et al. (2020) señalaron que la mayoría de movimientos observados en Boo se deben relacionar a fenómenos distintos a la subsidencia minera, tales como inestabilidades de ladera (*rockfalls*, *creep* y *slides*) y a defectos de construcción.

Así mismo, hay que tener en cuenta que la resolución de las imágenes SAR

proporcionadas por el satélite Sentinel-1 A es aproximadamente 14 x 4 m. Esta resolución es idónea para analizar movimientos del terreno de grandes dimensiones que no requieran demasiada precisión. Sin embargo, para estudiar en detalle daños en edificaciones o movimientos de pequeñas dimensiones pueden resultar imprecisos. Para estos casos serían más convenientes imágenes de alta resolución proporcionadas por satélites cuyos sensores sean de banda X, tales como CosmoSky-Med, TerraSAR-X o Capella, cuyas resoluciones alcanzan los 5, 3 y 0,5 m, respectivamente (Mondini et al., 2022).

Con el fin de mejorar los resultados obtenidos en este trabajo, se proponen nuevas líneas de investigación. Estos nuevos enfoques irían dirigidos a: 1) realizar nuevos procesados con otros satélites con banda X, otras órbitas e imágenes, 2)



Fig. 4.- Evidencias de movimiento encontradas en Boo. A) Vivienda con múltiples daños estructurales y con evidencias de haber sufrido asentamientos diferenciales. B) Grietas en un muro junto a la vivienda de la fotografía C. C) Daños estructurales y múltiples grietas en una vivienda abandonada. D) Otra vivienda con abundantes anomalías estructurales. Ver localización de evidencias en la Fig. 3.

Fig. 4.- Movement evidence found in Boo. A) A dwelling with multiple structural damage and evidence of differential settlement. B) Cracks in a wall next to the dwelling in photograph C. C) Structural damage and multiple cracks in an abandoned dwelling. D) Another house with abundant structural anomalies. See location of evidence in Fig. 3.

instalar corner reflectors para mejorar la señal SAR en aquellas zonas donde no se han medido puntos y 3) aplicar la técnica Ground Based SAR (GB-SAR). Estos futuros trabajos permitirán monitorear áreas no estudiadas en este trabajo y disponer de una información de conjunto que permitiría una mejor interpretación de los movimientos.

Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un estudio de movimientos del terreno en la población de Boo (Asturias, Norte de España) a partir de las técnicas A-DInSAR desde enero de 2018 a enero de 2020.

Los resultados A-DInSAR obtenidos muestran velocidades LOS máximas de $-35,9$ mm/año y $13,5$ mm/año relacionadas con movimientos del terreno asociados a inestabilidades de ladera y defectos constructivos, como mostraron los trabajos de campo.

Este trabajo muestra como la aplicación de la técnica PSI utilizando el software PSIG es una herramienta útil para detectar y monitorear desplazamientos del terreno donde hay problemáticas

de inestabilidad de ladera y subsidencia. Sin embargo, se encuentra muy limitada cuando es aplicada en zonas no urbanas y cuando los datos de los que se dispone son muy limitados.

Por último, se describen posibles líneas de investigación futuras con el fin de mejorar los resultados e interpretaciones realizadas.

Contribución de los autores

José Cuervas-Mons: Estructura del trabajo, metodología, adquisición de datos, edición, figuras, revisión del manuscrito, investigación/análisis y coordinación. María José Domínguez-Cuesta: investigación/análisis, revisión del manuscrito y supervisión. Jerymy Carrillo: investigación/análisis y revisión del manuscrito. Félix Mateos-Redondo, Oriol Monserrat y Anna Barra: revisión del manuscrito.

Agradecimientos y financiación

El presente trabajo ha sido realizado en el marco del Programa de Apoyo y Promoción de la Investigación 2021 de

la Universidad de Oviedo (Proyecto Ref. PAPI-21-PF-22).

Referencias

- Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. y Sansosti, E. (2002). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 40, 2375-2383. <https://doi.org/bxwz5c>
- Biescas, E., Crosetto, M., Agudo, M. y Monserrat, O. (2007). *Journal of Surveying Engineering* 133, 66-71. <https://doi.org/dvbw5z>
- Devanathéry, N., Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M. y Crippa, B. (2014). *Remote Sensing* 6, 6662-6679. <https://doi.org/gcfxv>
- Ferreti, A., Prati, C. y Rocca F. (2000). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 38, 2202-2212. <https://doi.org/crs7vn>
- González-Nicieza, C., Álvarez-Fernández, M., Menéndez-Díaz, A. y Álvarez-Vigil, A. (2007). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 66, 319-329. <https://doi.org/djqgrc>
- Graniczny, M., Colombo, D., Kowalski, Z., Przyucka, M. y Zdanowski, A. (2014). *Pure and Applied Geophysics* 172, 3029-3042. <https://doi.org/f7v73b>
- Herrera, G., Tomás, R., López-Sánchez, J., Delgado, J., Mallorqui, J., Duque, S. y Mulas, J. (2007). *Engineering Geology* 90, 148-159. <https://doi.org/c46sc>
- Laguna-Megal y Mulas de la Peña, J. (1992). *Geogaceta* 12, 86-89.
- Mora, O., Mallorqui, J. y Broquetas A. (2003). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41, 2243-2253. <https://doi.org/d6vdp5>
- Mondini, A., Guzzetti, F., Chang, K., Monserrat, O., Martha, T. y Manconi, A. *Earth-Science Reviews* 216, 103574. <https://doi.org/gj93fb>
- Pawluszek-Filipiak, K. y Borkowski, A. (2020). *Remote Sensing* 12, 242. <https://doi.org/gg4j9n>
- Riesgo-Fernández, P., Rodríguez-Granda, G., Krzemien, A., García-Cortés, S. y Fidalgo-Valverde, G. (2020). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 126, 104175. <https://doi.org/jvf2>
- Valenzuela, P., Domínguez-Cuesta, M.J., Mora-García, M. y Jiménez-Sánchez, M. (2017). *Geomorphology* 293, 11-23. <https://doi.org/gb4z6d>
- Velando, F., Castello, R., y Orviz, F. (1973). *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 78 (Pola de Lena) y memoria*. IGME, Madrid, 41 p.