PUBLICACIONES DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA Nº 5

Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro

Sociedad Española de Geomorfología

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

Editores: Juan José Durán Valsero,
Manuel Montes Santiago,
Alejandro Robador Moreno
y Ángel Salazar Rincón

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

Instituto Geológico y Minero de España

Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro

Actas de la XIV Reunión Nacional
de Geomorfología
Málaga, 22-25 de Junio de 2016

Editores
Juan José Durán Valsero, Manuel Montes Santiago,
Alejandro Robador Moreno y Ángel Salazar Rincón

Madrid, 2016

Comprendiendo el relieve: del pasado al futuro / Juan José Durán Valsero, Manuel Montes Santiago, Alejandro Robador Moreno y Ángel Salazar Rincón, eds.- Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2016

768 pgs; ils; 24 cm.- (Geología y Geofísica; 5)
ISBN 978-84-9138-013-9
Geomorfología, España

Portada: Panorámica de El Torcal Alto (Antequera, Málaga).

Foto: J. J. Durán

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida o transmitida en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, incluido fotografías, grabación o por cualquier otro sistema de almacenar información sin el previo permiso escrito del autor o editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

© INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID
NIPO: 72816018X
ISBN: 978-84-9138-013-9
Depósito Legal: M-21672-2016
Catálogo y venta de publicaciones de la Administración General del Estado en:
http://publicacionesoficiales.boe.es/

Imprime: Lerko Print S.A.
Paseo de la Castellana, 121
28046 Madrid

Impreso en papel ecológico

Elaboración de inventarios nacionales de movimientos de ladera en España y Chipre para la evaluación de su susceptibilidad a escalas nacional y europea

Development of national landslide inventories in Spain and Cyprus for nationwide and pan-European susceptibility assessment

J. Hervás[1]

[1] European Commission, Joint Research Centre (JRC), 21027 Ispra (VA), Italia. javier.hervas@jrc.ec.europa.eu

Resumen: Con el fin de realizar el mapa europeo de susceptibilidad a los movimientos de ladera ELSUS, se han elaborado inventarios nacionales de movimientos de ladera en España y Chipre, entre otros países en los que no existían o no estaban disponibles. Para ello se han buscado, recopilado y analizado una ingente cantidad de documentos en siete idiomas, junto con datos inéditos del propio autor. Los movimientos en laderas naturales así extraídos se han localizado, validado y su centroide georreferenciado en Google Earth, con ayuda para los de España de visores web de imágenes y mapas de base, con una precisión generalmente superior a 100 m. Los movimientos se han clasificado en cuatro tipos: desprendimientos y vuelcos, deslizamientos, flujos y movimientos sin clasificar. Aparte de este atributo, los registros de los movimientos incluyen sistemáticamente un identificador único, coordenadas del centroide, unidad territorial, litología y período crono-estratigráfico del sustrato y referencias bibliográficas. Para un número reducido de registros, el inventario de España incluye además fecha de ocurrencia o reactivación, magnitud, factor desencadenante e impacto. El inventario de España (ALISSA) contiene actualmente más de 4500 registros y el de Chipre (SLICY) supera los 450, ambos en formato original KML, convertidos a geodatabase de ESRI. Si bien para España este número se puede considerar aún limitado, su distribución geográfica se corresponde con las zonas más propensas a los movimientos de ladera en ambos países. Ello hace que sean de gran utilidad para las cartografías nacionales y europea de susceptibilidad a los movimientos a escalas pequeña e intermedia. Además, la inclusión de referencias bibliográficas permite extraer más información sobre numerosos movimientos, como por ejemplo sus límites, siendo así útiles también para la planificación de obras de ingeniería o la realización de mapas de peligrosidad o riesgo por dichos fenómenos en algunas zonas.

Palabras clave: Chipre, deslizamientos, España, inventario, movimientos de ladera, susceptibilidad.

Abstract: *In order to produce the ELSUS European Landslide Susceptibility Map, national landslide inventories have been created for Spain and Cyprus, among other countries in Europe where they did not exist or were not available. To this end, a very large amount of documents in*

seven languages have been searched, collected and analysed, along with unpublished work by the author. Landslides on natural slopes thus extracted have been located, validated and their centroid georeferenced on Google Earth with a precision of at least 100 m, with additional help of some image and base map web viewers for Spanish landslides when necessary. Recorded landslides have been simply classified according to type of movement as falls and topples, slides, flows, and unclassified landslides. In addition to typology, landslide records systematically include a unique identifier, centroid coordinates, territorial unit, lithology and chronostratigraphic period, and bibliographical references. For a number of records, the inventory of Spain additionally includes date of occurrence or reactivation, magnitude, triggering factor and impact. Spain's inventory (ALISSA) currently holds over 4500 landslide records, while that of Cyprus (SLICY) 450. Both are originally in KML format, converted to ESRI's geodatabase. Although for Spain this number is somehow limited, the landslides spatial distribution matches that of the most landslide-prone areas in both countries. This makes the inventories suitable for nationwide and pan-European susceptibility mapping at small to intermediate scales. In addition, the inclusion of bibliographical references enables to extract additional information on numerous landslides, for instance boundaries, thus being also useful for engineering works planning or for producing landslide hazard or risk maps in some areas.

Key words: *Cyprus, inventory, landslides, Spain, susceptibility assessment.*

INTRODUCCIÓN

Los inventarios de movimientos de ladera son archivos conteniendo la distribución geográfica y las características de los movimientos actuales u ocurridos en el pasado (Hervás, 2013). En el marco de la realización del mapa europeo de susceptibilidad a los movimientos de ladera (ELSUS: European Landslide Susceptibility Map; Hervás *et al*., 2007; Günther *et al*., 2014), como contribución a la Estrategia temática para la protección del suelo de la Unión Europea (CE, 2006), se han elaborado inventarios nacionales simplificados de movimientos de ladera en España y Chipre, entre otros países de Europa en los que no existían o no estaban disponibles (Van Den Eeckhaut y Hervás, 2012a,b), a fin de completar una base de datos europea de movimientos para la calibración y validación del modelo de susceptibilidad utilizado.

Una versión preliminar del inventario de España, denominado ALISSA (Abridged Landslide Inventory of Spain for Synoptic Susceptibility Assessment), conteniendo un número de movimientos reducido y sin diferenciación tipológica, se utilizó para la realización de la primera versión de ELSUS, accesible desde 2013 a través del portal del European Soil Data Centre (ESDAC; JRC, en línea). Posteriormente, dicha versión se ha ampliado notablemente, tanto en número de registros de movimientos como en el de atributos. Este inventario y el de Chipre, denominado SLICY (Succinct Landslide Inventory of Cyprus), se están utilizando actualmente, junto con un mayor número de movimientos de ladera en otros países y datos más precisos de factores condicionantes de la susceptibilidad a nivel europeo respecto a los de la primera versión, en la realización de un nuevo mapa ELSUS (Günther *et al*., 2015).

Los dos inventarios se basan principalmente en documentación procedente de diversas fuentes, posteriormente analizada, validada, georreferenciada y armonizada con ayuda de servicios web map (WMS: Web Map Services). Dado su objetivo principal, ambos inven-

tarios contienen sólo movimientos en laderas naturales, excluyéndose las inestabilidades en taludes artificiales y terraplenes en vías de comunicación, presas, canteras, cortas mineras, escombreras, vertederos, etc, cuya susceptibilidad depende de factores geoambientales muy locales, generalmente poco correlacionables con los de escala regional, nacional o europea. Los inventarios tampoco incluyen movimientos pequeños, tales como deslizamientos y flujos de dimensiones superficiales métricas o de pocas decenas de metros, o pequeños desprendimientos de rocas, excepto en el caso de que hayan causado grandes daños, ni los antiguos mega-deslizamientos y mega-avalanchas de derrubios de las Islas Canarias.

METODOLOGÍA

Para la elaboración de los inventarios nacionales se ha diseñado en primer lugar un procedimiento de búsqueda, recopilación y análisis de una ingente cantidad de documentos (artículos, comunicaciones y monografías científicas, mapas temáticos geocientíficos, noticias en medios de comunicación y redes sociales, informes técnicos y otros documentos), tanto en Internet como impresos, en siete idiomas (castellano, inglés, catalán, francés y, en menor medida, italiano, gallego y sueco). También se han utilizado informes inéditos y observaciones de campo del propio autor. Este procedimiento se ha repetido periódicamente para diversas actualizaciones de los inventarios.

Hay que subrayar que el contenido y calidad de la documentación examinada varía notablemente, dependiendo principalmente de los objetivos del estudio o la información, la formación y experiencia del analista o informador y los recursos disponibles. En particular, se ha encontrado una gran disparidad de terminología relativa a los movimientos de ladera, a menudo imprecisa, ambigua o inapropiada, especialmente en noticias de prensa, redes sociales e incluso en trabajos científicos enfocados en glaciarismo y periglaciarismo, geomorfología o cartografía geológica, especialmente en los más antiguos. Se ha observado además que dichos trabajos a menudo no tienen en cuenta la presencia de desprendimientos y flujos de derrubios. También hay que considerar que a veces no existe una correspondencia inequívoca entre la terminología en idiomas diferentes. Todo ello influye, entre otros aspectos, en la localización de las inestabilidades y su clasificación tipológica.

Los movimientos en laderas naturales extraídos de la documentación analizada se han localizado en Google Earth, verificado y, en caso de validación, se han georreferenciado sus centroides con una precisión generalmente superior a 100 m. Para ello también se han utilizado en el inventario de España otros visores web (WMS) de imágenes aéreas o satelitales y mapas, como IBERPIX (IGN, en línea) y SIGPAC (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, en línea), especialmente en zonas donde la resolución o contraste de las imágenes disponibles en Google Earth no es aún adecuada. Para la validación de los movimientos en ambos inventarios a veces se han utilizado asimismo fotografías disponibles online. El proceso de verificación-validación conlleva el rechazo del supuesto movimiento sólo cuando no se aprecian condiciones objetivas de que pueda serlo realmente. Por otra parte, en el inventario de Chipre se ha utilizado Google Earth además para identificar y registrar algunos movimientos de ladera no documentados, con ayuda de mapas geológicos y geotécnicos y fotografías online, sobre todo en el territorio de ocupación turca, al norte de la isla.

Como regla general, en Google Earth se ha establecido una separación mínima entre centroides inventariables de 100 m, equivalente a la precisión mínima de georreferenciación.

Esta distancia tiene también en cuenta la posible, aunque pequeña, imprecisión en la localización del punto dentro de la superficie del movimiento, sobre todo en movimientos de grandes dimensiones, y las ligeras imprecisiones cartográficas de Google Earth, con el fin de evitar posibles duplicidades y de no inventariar en exceso desprendimientos generalizados en algunos cantiles, así como deslizamientos o flujos superficiales de reducida extensión, que puedan sopesar demasiado en la evaluación de la susceptibilidad con respecto a otras zonas menos documentadas. Esta regla se aplica también a los movimientos coalescentes y a los de grandes dimensiones con reactivaciones parciales del depósito de deslizamiento anterior.

Cada movimiento de ladera (*landslide*) registrado se ha clasificado de forma simplificada en base a la tipología principal de movimiento, en cuatro tipos: desprendimientos/vuelcos (*falls/topples*), deslizamientos (*slides*), flujos (*flows*) y movimientos sin clasificar (*unclassified landslides*). En esta última categoría se han incluido principalmente los movimientos que carecen de tipología en el documento original y que no es posible asignarles una determinada inequívocamente con la ayuda de Google Earth, así como los clasificados ocasionalmente como movimientos complejos, a causa de la incerteza con la que a veces vienen así llamados en ausencia de un examen más detallado de su tipología. A este respecto, cabe señalar que Hungr *et al*., (2014) desaconsejan usar dicho término. Por otra parte, el proceso de localización y validación de los movimientos en Google Earth comporta en ocasiones su reposicionamiento o reclasificación tipológica si es necesario, resolviendo también las discrepancias que a este respecto existen a veces entre distintos documentos de la misma zona.

Además de las coordenadas del centroide, cada registro de los inventarios de España y Chipre incluye sistemáticamente un identificador único, unidad territorial (provincia en España y distrito en Chipre), litología y período crono-estratigráfico del sustrato donde se ha producido el movimiento (fundamentales para la evaluación de la susceptibilidad) y las referencias bibliográficas. Dependiendo de la información disponible, un número relativamente reducido de registros del inventario de España incluye además información sobre la fecha de ocurrencia o reactivación, volumen o extensión superficial, factor desencadenante e impacto. También se incluye generalmente la denominación o denominaciones del tipo de movimiento tal y como aparece en la documentación consultada. El inventario de Chipre, en cambio, no incluye estos atributos adicionales.

RESULTADOS

A 1 de marzo de 2016, el inventario de España (ALISSA) contiene más de 4.500 registros de movimientos de ladera, mientras que el de Chipre (SLICY) supera los 450, todos en laderas naturales. En ambos, los movimientos están representados cartográficamente como puntos (centroides), con una precisión de georreferenciación generalmente superior a 100 m, con atributos en español e inglés en ALISSA y en inglés en SLICY. Ambos inventarios se han creado originalmente en formato KML, con coordenadas tridimensionales ilustrando la zona del movimiento en imágenes en perspectiva de Google Earth, habiéndose convertido posteriormente a formato geodatabase de ESRI. Si bien en el caso de España el número de movimientos registrados es aún limitado, debido en parte a las restrictivas reglas de inventariado establecidas, los dos inventarios incluyen la gran mayoría de los grandes deslizamientos y flujos ocurridos en los dos países, así como de las inestabilidades naturales que han causado mayores daños.

En España (Fig. 1), la mayor concentración de movimientos en laderas naturales inventa-

riados hasta la fecha se localiza principalmente en los Pirineos y las Cordilleras Béticas y Cantábrica, así como en algunas zonas de costa acantilada y de las cuencas cenozoicas del Guadalquivir, Ebro y Duero. Por mayor densidad de movimientos, destacan las comunidades de Cantabria, Navarra y Asturias, siendo Extremadura la de menor densidad. Por provincias, sobresale ampliamente Granada por su mayor densidad, seguida por las tres comunidades uniprovinciales anteriores, Guipúzcoa y Lérida. En el extremo opuesto se encuentran Badajoz y Huelva. Por tipología, en el inventario de España predominan los deslizamientos.

En Chipre (Fig. 1), la mayor concentración de movimientos se manifiesta en las colinas formadas por materiales detríticos cenozoicos en el distrito de Pafos, donde predominan los deslizamientos, y, aunque con menor densidad, en los materiales carbonatados que forman los Montes Pentadáctiylos, en el distrito de Kyrenia, donde preponderan ligeramente los desprendimientos de rocas. Por el contrario, Lárnaca aparece como el distrito con menor densidad de inestabilidades de ladera.

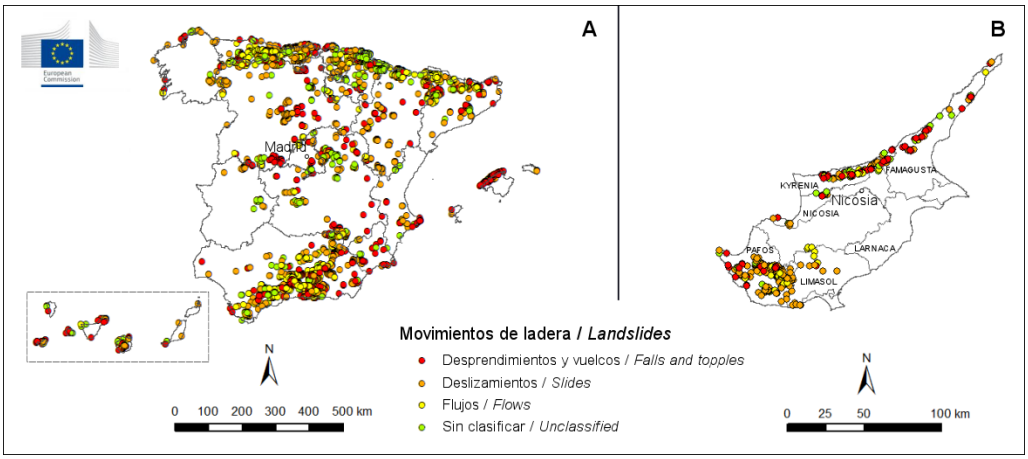

FIGURA 1. *Mapas inventario de movimientos de ladera: (A) España, con límites de comunidades autónomas; (B) Chipre, con división en distritos*

CONCLUSIONES

Se han elaborado inventarios nacionales de movimientos en laderas naturales en España y Chipre a partir fundamentalmente de fuentes documentales, conteniendo centroides de movimientos localizados con precisión y un conjunto relativamente reducido de propiedades.

Si bien estos inventarios contienen sólo una parte de los movimientos de ladera estimados en ambos países, especialmente de desprendimientos, su distribución espacial (Fig. 1) muestra una buena correspondencia con las áreas reconocidas de mayor propensión a dichos procesos, por lo que ambos inventarios son de gran utilidad principalmente para la cartografía nacional y europea de la susceptibilidad a escala pequeña a mediana. Por otra parte, la inclusión de las fuentes bibliográficas permite extraer más información de bastantes de sus registros, por ejemplo los límites (polígonos) de los movimientos, siendo así útiles también para la planificación de obras de ingeniería o para la realización de mapas de

peligrosidad o riesgo por dichos fenómenos en algunas zonas.

Está previsto que los inventarios se publiquen próximamente a través del portal ESDAC (JRC, en línea).

AGRADECIMIENTOS

El autor desea dar las gracias a Z. Zomeni y N. Koulermou, del Geological Survey Department de Chipre, J. Chacón, de la Universidad de Granada, y J. Yepes, de la Universidad de Las Palmas, por la documentación aportada.

REFERENCIAS

CE, 2006. *Estrategia temática para la protección del suelo*. COM(2006)231 final, Bruselas, 22.9.2006, Comisión Europea, 12 pp.

Günther, A., Van Den Eeckhaut, M., Malet, J.-P., Reichenbach, P. y Hervás, J. 2014. Climate-physiographically differentiated Pan-European landslide susceptibility assessment using spatial multi-criteria evaluation and transnational landslide information. *Geomorphology*, 224, 69-85.

Günther, A., Wilde, M., Malet, J.-P., Reichenbach, P. y Hervás, J. 2015. Improvements in pan-European landslide susceptibility assessment: the ELSUS version 2 map**.** *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 47 (7), 549.

Hervás, J. 2013. Landslide Inventory. In: Bobrowsky, P.T. (ed.) *Encyclopedia of Natural Hazards*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 610-611.

Hervás, J., Günther, A., Reichenbach, P., Chacón, J., Pasuto, A., Malet, J.-P., Trigila. A., Hobbs, P., Maquaire, O., Tagliavini, F., Poyiadji, E., Guerrieri, L. y Montanarella, L. 2007. Recommendations on a common approach for mapping areas at risk of landslides in Europe. In: Hervás, J. (ed.) *Guidelines for Mapping Areas at Risk of Landslides in Europe*. EUR 23093 EN, Publications Office of the European Union, Luxemburgo, 45-49.

Hungr, O., Leroueil, S. y Picarelli, L. 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11, 167-194.

IGN [en línea]. IBERPIX, 01/03/2016, http://www.ign.es/iberpix2/visor

JRC [en línea]. European Soil Data Centre (ESDAC): Landslides, 01/03/2016, http://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/landslides

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente [en línea]. SIGPAC, 01/03/2016, http://sigpac.magrama.es/fega/visor

Van Den Eeckhaut, M. y Hervás, J. 2012a. State of the art of national landslide databases in Europe and their potential for assessing landslide susceptibility, hazard and risk. *Geomorphology*, 139-140, 545-558.

Van Den Eeckhaut, M. y Hervás, J. 2012b. *Landslide inventories in Europe and policy recommendations for their interoperability and harmonisation - A JRC contribution to the EU-FP7 SafeLand project*. EUR 25666 EN, Publications Office of the European Union, Luxemburgo, 202 pp.