

MOVIMIENTOS DE LADERA

Landslides

Ramon Copons Llorens (*), (**) y Anna Tallada Masquef (**)

RESUMEN

Los movimientos de laderas son partes de las vertientes que se desplazan hacia abajo por efecto de la gravedad. Estos fenómenos son el tercer riesgo natural en el mundo por número de víctimas después de los terremotos y las inundaciones. Por este motivo, es importante tenerlos en cuenta en la gestión de los usos del suelo y en las acciones divulgativas y educativas de autoprotección del riesgo. El objetivo del presente artículo es exponer una síntesis del conocimiento sobre movimientos de ladera que sea útil a los educadores. En el artículo se definen los tipos de movimientos de ladera y se exponen sus capacidades destructivas en base a sus velocidades. También se citan los eventos más significativos que han tenido lugar en España y se exponen brevemente sus causas. Se tratan las consecuencias de estos fenómenos en España y se exponen las acciones para reducir su riesgo. Finalmente, se muestra una parte de la información existente en Internet con el objetivo de proporcionar material para trabajar los movimientos de laderas en las aulas.

ABSTRACT

Landslides are parts of slopes that move down-slope by the gravity effect. Taking into account the number of casualties, this phenomenon is the third natural risk in the world after earthquakes and floods. For this reason, it should be taking into account for: (i) land use planning purposes, and (ii) educational actions for rise the self-protection of inhabitants. The aim of this paper is to summarize the knowledge on landslides for supporting the work of educators. In this paper, types of landslides have been defined and their destructive capacities according their velocities have been exposed. The most significant events that took place in Spain have been mentioned too and their causes have been exposed briefly. The consequences of these phenomena in Spain and actions to manage risk have been mentioned. Finally, the existing works in Internet have been reviewed with the aim of providing basic information to educators.

Palabras clave: movimiento de ladera, deslizamiento, desprendimiento, riesgo, divulgación.

Keywords: slope movement, landslide, rockfall, risk, divulgation.

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes definiciones de los movimientos de ladera que reflejan la naturaleza compleja de estos fenómenos. A efectos divulgativos, los movimientos de ladera son partes de las laderas que se desplazan vertiente abajo por el efecto de la gravedad. Los materiales inestabilizados pueden ser tanto roca como suelo y el mecanismo de desplazamiento muy diferente, desde la caída libre a través del aire hasta el desplazamiento lento de toda una montaña (Varnes 1978, Cruden y Varnes, 1996).

Los movimientos de ladera provocan daños materiales importantes en el mundo (Brabb y Harrods, 1989) y son el tercer riesgo natural por número de víctimas después de los terremotos y las inundaciones (Ayala-Carcedo, 2002). La catástrofe natural ligada a movimientos de ladera con un mayor número de víctimas se produjo en 1920 en Kansú (Haiyuan, China) donde un deslizamiento provocó la muerte a unas 100.000 personas (Ayala-Carcedo

2002). Como evento más reciente, cabe destacar el que se produjo en Santa Tecla (El Salvador) en enero de 2001 por un terremoto, el cual causó aproximadamente 400 muertos.

En España, afortunadamente, los movimientos de ladera no han generado un número tan importante de víctimas como en otros países montañosos. No obstante, son fenómenos que requieren ser tenidos especialmente en cuenta para la planificación territorial tanto urbanística como para la implementación de infraestructuras.

TIPOLOGÍA DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA.

La variedad de fenómenos incluidos como movimientos de ladera (*landslides* en inglés) es grande y su clasificación compleja. Diferentes autores (Varnes, 1978; Cruden y Varnes, 1996; Corominas y Yagüe, 1997) clasifican los movimientos de ladera se-

(*) Dpto. Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica, Universitat Politècnica de Catalunya. C/Jordi Girona, 1-3. Módulo D2. 08034 Barcelona. ramon.copons@upc.edu; ramon.copons@georisc.cat

(**) Georisc S.L.P., C/Gimbernat, 2. local 3. 43205 Reus. anna.tallada@georisc.cat.

gún el tipo de movimiento y la naturaleza de los materiales inestabilizados (es decir, roca o suelo). El tipo de movimiento se refiere a los mecanismos internos de desplazamiento vertiente abajo de la masa inestabilizada (Highland y Bobrowsky, 2008). Los tipos de mecanismos principales son la caída (o desprendimiento), el vuelco, el deslizamiento, la expansión lateral y los flujos. También puede haber una combinación de varios tipos de mecanismos, entonces se denomina con el nombre de “movimiento complejo”.

Desprendimientos

Un desprendimiento (*rockfall* en inglés) es una masa rocosa, o de tierra, que se separa de una vertiente casi vertical y cae libremente a través del aire. La masa inestabilizada impacta en el terreno fragmentándose en porciones más pequeñas que siguen una trayectoria particular.

Los volúmenes de los desprendimientos son extremadamente variables, desde las frecuentes caídas de bloques de pocos metros cúbicos, hasta la caída de grandes partes de una montaña que se manifiestan en casos muy excepcionales (Copons, 2007) (Figura 1).

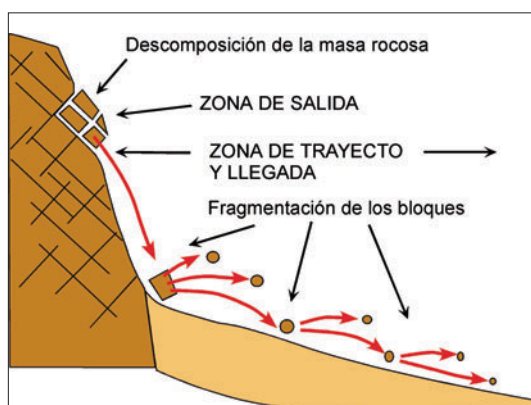


Fig. 1: Esquema de un desprendimiento en donde se define: la zona de salida de la masa rocosa, la posterior fragmentación a lo largo de la zona de trayecto y la acumulación de bloques rocosos en la zona de llegada. (Esquema obtenido de Copons, 2007).

Las caídas de bloques son extremadamente rápidas, por lo que es casi imposible poderlas esquivar. El impacto de un desprendimiento puede herir mortalmente a una persona, aplastar vehículos y agujerear paredes de edificios (Figura 2).

Vuelcos

Los vuelcos (*topple* en inglés) son columnas rocosas, o de tierras, que muestran un movimiento de rotación hacia delante y hacia el exterior de una ladera alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad (Figuras 3 y 4).

Los vuelcos se producen principalmente en escarpes en donde existen fracturas verticales en el terreno que son las causantes de separar las columnas rocosas, o de tierras, susceptibles al vuelco. Las ve-



Fig. 2: Impacto de un desprendimiento en un edificio en Santa Coloma (Andorra) en abril del 2008. (Foto: Ramon Copons).

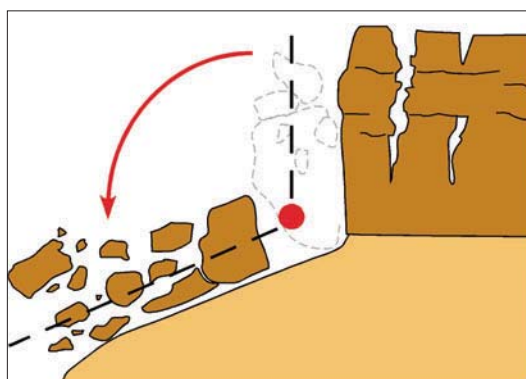


Fig. 3: Esquema del vuelco de una masa rocosa desprendida del sustrato rocoso. Esta masa pivota sobre un eje (punto rojo) hasta caer al suelo por gravedad donde los diferentes fragmentos se acumulan o ruedan ligeramente vertiente abajo. (Por cortesía del Servicio Geológico de Estados Unidos).



Fig. 4: Columna rocosa separada del sustrato con posibilidad de moverse mediante el vuelco (Serre de Llaberia, Cataluña).

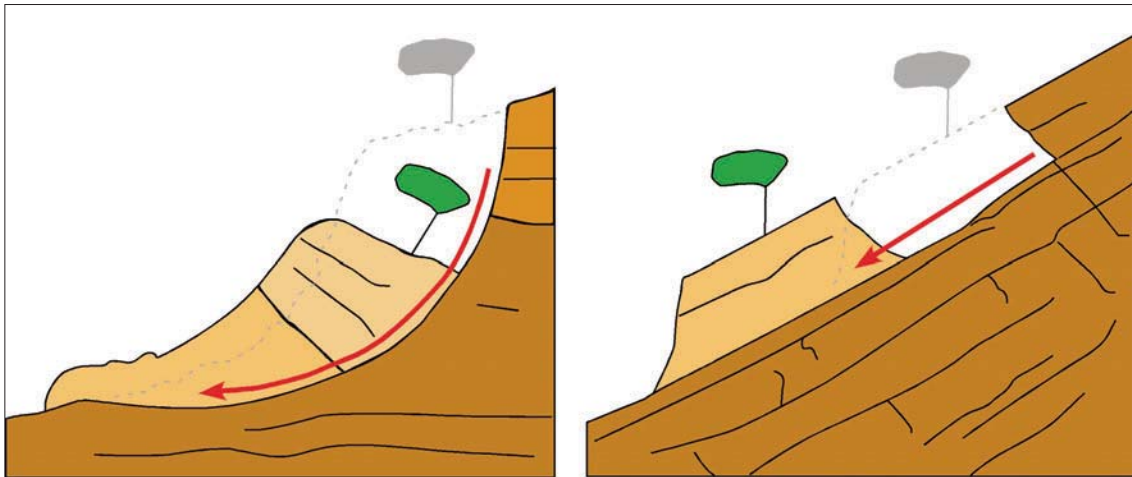


Fig. 5: Esquema de deslizamiento rotacional (A) y traslacional (B) donde se puede apreciar el desplazamiento de la masa inestabilizada a través de una superficie de rotura neta. (Por cortesía del Servicio Geológico del Canadá).

lidades son, en su inicio, lentas pero suelen acelerarse hasta ser extremadamente rápidas. Los efectos destructivos son similares a los desprendimientos.

Deslizamientos

Un deslizamiento (*slide* en inglés) es el movimiento de una porción de terreno a través de una superficie de rotura neta con la preservación general de la estructura interna original (Figura 5). Se puede diferenciar dos tipos de deslizamientos: los deslizamientos rotacionales en donde la superficie de rotura es circular, a modo de cuchara (Figura 6); y los deslizamientos traslacionales donde la superficie de rotura es totalmente plana.

Los deslizamientos son especialmente frecuentes en laderas inclinadas, entre 20 y 50 grados, y con formaciones geológicas poco resistentes y cohesivas (lutitas arcillosas, margas, etc.). También son frecuentes en laderas formadas por rocas estra-



Fig. 6: Deslizamiento rotacional de Holbeck al sur de Scarborough (UK) en 1993. Afectó a un hotel pero no hubo víctimas mortales porque los huéspedes fueron desalojados con anterioridad. (Por cortesía del Servicio Geológico Británico <http://www.bgs.ac.uk/landslides/holbeckHall.html>).

tificadas con intercalaciones de capas delgadas de arcillas o lignitos. Es también la inestabilidad más frecuente en terraplenes antrópicos.

Las velocidades son desde extremadamente lentas (menos de un centímetro por año) hasta moderadamente rápidas (varios metros por día). Suelen causar importante daños materiales en urbanizaciones y tramos de la red viaria, pero su efecto mortal suele ser bajo.

Expansión lateral

La expansión lateral (*lateral spread* en inglés) es un fenómeno caracterizado por el desplazamiento lateral de una vertiente combinado con la subsidencia de la cima (Figura 7). Las expansiones laterales más habituales se manifiestan en formaciones geológicas en donde existen formaciones duras situadas encima de una formación arcillosa propensa a la licuefacción (como licuefacción se entiende a la transformación de un sedimento granular saturado en agua, poco consolidado y de una cierta consistencia, en una masa con las propiedades de un fluido debido a la vibración causada, por ejemplo, por un sismo).

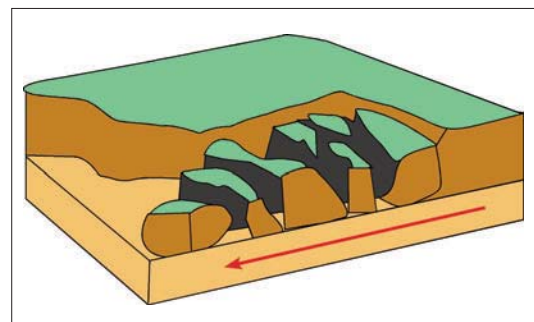


Fig. 7: Esquema simplificado de una expansión lateral. La coloración más oscura representa una capa dura fragmentada por la inestabilidad, y la coloración más clara la capa licuefactada subyacente. (Por cortesía del Servicio Geológico de Estados Unidos).

En España existen relativamente pocos ejemplos de expansiones laterales. Un ejemplo lo tenemos en el movimiento de ladera prehistórico de Llimiana (Lleida), en donde una gruesa capa de calcáreas se desplazó por encima de una formación arcillosa altamente inestable.

Las expansiones laterales suelen afectar una gran parte de una misma ladera, mostrando desde centenas hasta kilómetros de anchura. Las velocidades de desplazamiento suelen ser lentas (desde pocos metros por día hasta milímetros año), aunque en zonas altamente sísmicas pueden llegar a ser extremadamente rápidas.

Flujos

Un flujo (*flow* en inglés) es un movimiento continuo, similar a un líquido viscoso, que no preserva la estructura interna original del material desplazado sino que adopta la morfología de la vertiente por la que discurre.

Existen diferentes tipos de flujos (Corominas y Yagüe 1997; Highland y Bobrowsky, 2008) de los cuales los más habituales en España son las coladas fangosas, las corrientes de derrubios y la reptación superficial.

La colada fangosa (*earthflow* en inglés) tiene lugar en materiales finos y cohesivos como son los limos y las arcillas (Figuras 8 y 9). Se generan en vertientes moderadamente inclinadas, entre 20 y 50 grados, y sus velocidades son relativamente rápidas siendo normalmente del orden de metros/día hasta kilómetros/hora. Sus dimensiones son muy variables desde metros cuadrados hasta varios kilómetros cuadrados.

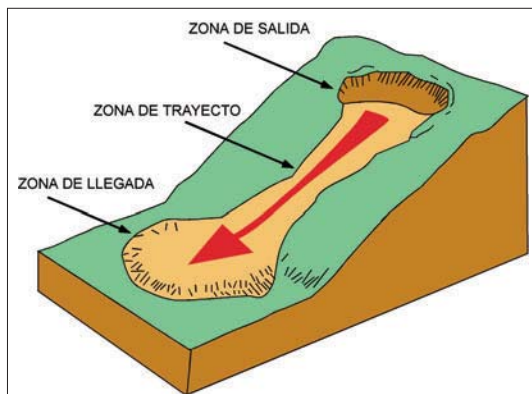


Fig. 8: Esquema de una colada fangosa. (Por cortesía del Servicio Geológico de Estados Unidos).

La corriente de derrubios (*debris flow* en inglés) habitualmente es un flujo “turbulento” formado por un material fangoso con bloques rocosos (Figuras 10 y 11). Normalmente, las corrientes de derrubios se manifiestan durante lluvias extremadamente fuertes. Tienen su inicio en un deslizamiento, o flujo, desencadenado en una vertiente (zona de salida en la figura 10). Cuando el material movilizado llega a un torrente, éste se mezcla con agua torrencial circulante convirtiéndose en un flujo turbulento. La corriente de



Fig. 9: Colada fangosa en “La Conchita” California (EEUU) en 2005. (Por cortesía del Servicio Geológico de Estados Unidos).

derrubios formada se canaliza por el torrente (zona de trayecto en la figura 10) desplazándose a velocidades muy rápidas e incrementa su volumen por erosión del material situado en el lecho. Puede llegar a sobresalir del torrente y arrasar lo que encuentra por su camino hasta que el flujo se detiene por la pérdida de agua o bien porqué la pendiente del terreno disminuye (zona de llegada en la figura 10). Las velocidades son del orden de varios kilómetros por hora siendo extremadamente destructivos y mortales.

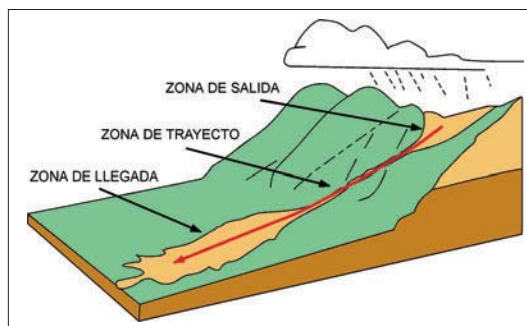


Fig. 10: Esquema de una corriente de derrubios. (Por cortesía del Servicio Geológico de Estados Unidos).



Fig. 11: Corriente de derrubios que ocurrió en Senet (Cataluña) en agosto de 1963.

La reptación superficial (*slow earthflow* o *creep* en inglés) es la inestabilidad de la parte más superficial del terreno (de decímetros a pocos metros de grosor) y que se desplaza mediante velocidades muy lentas (del orden de mm/año a dm/año). Es el tipo de movimiento de ladera más habitual y puede afectar a toda una vertiente (Figura 12). Su efecto destructivo es bajo pero puede causar daños moderados en estructuras que suelen tener reparación. Éste fenómeno es evidente por la inclinación de los elementos verticales, como por ejemplo, los árboles (Figura 13).

EVENTOS SIGNIFICATIVOS

Los movimientos de ladera en España no se distribuyen de forma regular y homogénea a lo largo de todo el territorio del país. Si tenemos en cuenta la geografía física, el mayor número de movimientos de ladera se encuentran en las cordilleras: Pirineos, Cordillera Cantábrica, Cordilleras Béticas y Sierras Costeras Catalanas (Corominas 2006). En una valoración por comunidades autónomas, Ayala-Carcedo *et al.* (1988) concluye que la comunidad autónoma con más eventos es Cataluña (37,2%) seguida de Andalucía (16,2%).

Existen diferentes trabajos que presentan una relación de los movimientos de ladera que han causado víctimas en España (Corominas, 1985; Ferrer, 1997; Bonachea 2006). En el presente artículo sólo se citaran algunos de los eventos más significativos acontecidos en España (Figura 14).

Eventos prehistóricos

Los eventos prehistóricos son los acontecidos hace miles de años de los cuales no hay referencia

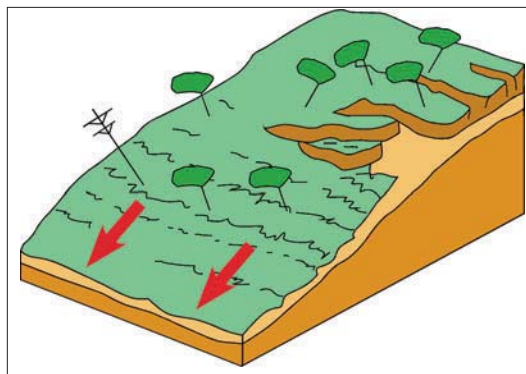


Fig. 12: Esquema de reptación superficial en una ladera donde se puede observar que este movimiento afecta a los árboles y a las construcciones sencillas que haya por encima (Modificado de US Geological Survey).



Fig. 13: Detalle de un árbol inclinado por la reptación superficial del terreno (Abreña, Barcelona).

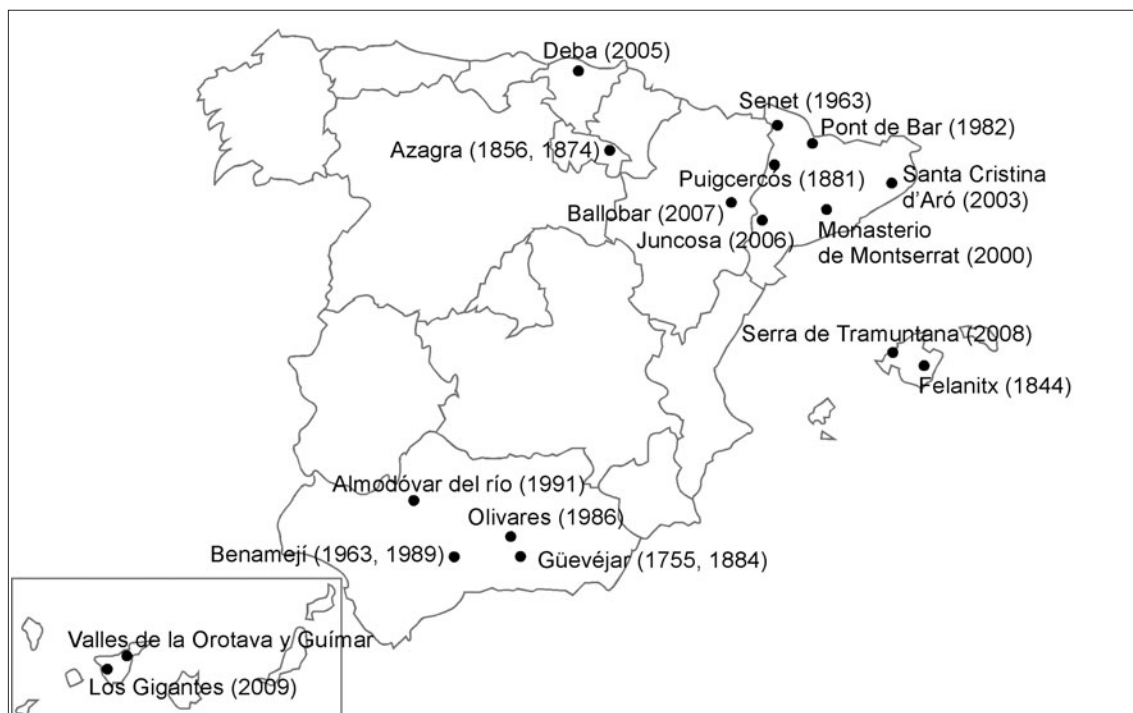


Fig. 14: Localización de los acontecimientos más significativos expuestos en el texto.

histórica alguna. Como ejemplos se encuentran los deslizamientos gigantes (Carracedo *et al.*, 2009) que originaron los valles de La Orotava y Guímar en la isla de Tenerife (Figura 15). Estos deslizamientos gigantes se movilizaron a través de una capa muy plástica y fangosa de origen volcánico (Hürlimann, 1999). El deslizamiento podría haber sido extremadamente rápido y originar un tsunami con su llegada al mar.

Eventos históricos

Los eventos históricos son los acontecidos hace centenares de años de los cuales hay referencia histórica mediante documentos escritos o gravados. Como ejemplos podemos citar los eventos acontecidos en las poblaciones de Felanitx, Güevéjar, Azagra y Puigcercós.

El 31 de marzo de 1844, en la población mallorquina de Felanitx se desplomó un terraplén durante el Vía Crucis causando 414 muertos y aproximadamente 200 heridos.

El pueblo de Güevéjar (Granada) fue destruido en dos ocasiones por un gran movimiento de ladera activado por los terremotos de Lisboa en 1755 y de Andalucía en 1884 (Ferrer, 1997; Sanz, 1992; Jiménez Pintor y Azor, 2006). Tras el primer terremoto no se produjeron víctimas, pero fue necesario desalojar temporalmente el pueblo. Durante el segundo terremoto en 1884 se produjo un deslizamiento que afectó el 93% de los edificios y el pueblo quedó en estado ruinoso por lo que fue definitivamente abandonado en 1887.

Uno de los pueblos más castigados de España por desprendimientos es Azagra (Navarra). En junio de 1856, se desprendió parte de una pared rocosa que sepultó seis casas provocando la muerte de once personas. Otro de mayor magnitud aconteció la noche del 21 de julio de 1874 cuando una avalancha rocosa destrozó 77 edificios habitados y provocó la muerte de unas 100 personas. En este mismo pueblo se han producido más eventos con víctimas mortales en enero de 1903 y en mayo de 1946. (<http://azagra0.galeon.com/tragediasdeazagra.htm>).

El pueblo de Puigcercós (Pallars, Lleida) estaba localizado en la cima de una montaña. En 1857 em-



Fig. 15: Vista general del valle de la Orotava (Tenerife), en donde se observa la vertiente escarpada (antigua cicatriz del gran deslizamiento) que rodea el valle. (Imagen expuesta en diferentes páginas Web entre las cuales están <http://picasaweb.google.com> y <http://www.webtenerife.com>).



Fig. 16: Cicatriz del deslizamiento de Puigcercós (Cataluña) en 1881. En lo alto de la cicatriz, aun se puede ver parte de la antigua iglesia. (Por cortesía del Sr. Andreu Serés, <http://www.xtec.cat>).

pezaron a aparecer grietas en los alrededores del pueblo, algunas de las cuales derivaron en deslizamientos (Vidal, 1881). En 1863, la población abandonó el pueblo y se instaló en otro lugar del municipio más seguro. En enero de 1881, después de un episodio de lluvias prolongado, gran parte de la montaña se inestabilizó llevándose consigo casi la mitad del pueblo ya deshabitado (Figura 16).

Eventos acontecidos en el siglo XX

En el pueblo de Benamejí (Córdoba), un deslizamiento de grandes dimensiones se ha ido reactivando en los últimos 50 años después de lluvias intensas: en 1963 el deslizamiento destruyó 55 viviendas y en 1989 se inestabilizó una calle y algunas viviendas. Desde 1991 diversas administraciones han realizado estudios y actuaciones para resolver el problema.

En febrero de 1956 se produjo una reactivación de un deslizamiento en Rosiana (Gran Canaria) que duró 10 días y provocó la evacuación de 250 personas. (Lomoschitz y Corominas 1997).

En abril de 1986, un deslizamiento de grandes dimensiones que duró aproximadamente unos 11 días amenazó la población de Olivares (Granada). El avance lento del deslizamiento hacía la zona urbana facilitó la gestión del desaloje de 70 viviendas y el aislamiento del barrio afectado del resto del pueblo. (Rodríguez *et al.*, 1987). El deslizamiento fue finalmente retenido después de realizar dragados y atacar su frente mediante la retirada del material inestabilizado.

Unas fuertes lluvias de verano acontecidas en agosto de 1963 causaron un corriente de derrubios en Senet (Lleida) que obturó el río Noguera Ribagorçana (Figura 11). La rotura del depósito que obturaba el río provocó el derrame brusco del agua embalsada que inundó importantes superficies de terreno aguas abajo.

Las lluvias intensas acontecidas a lo largo de los días 7 y 8 de noviembre de 1982 en el Pirineo Catalán fueron la causa de una inundación que afectó a diversas cuencas fluviales. Las lluvias desencadenaron alrededor de una decena de deslizamientos de

grandes dimensiones además de multitud de deslizamientos superficiales. Uno de los deslizamientos más representativos ocurrió en Pont de Bar (Lérida) en donde el río Segre reactivó un antiguo deslizamiento a partir de la excavación de su frente.

Más recientemente, en mayo de 1991 un deslizamiento de tierras de 150 metros de frente y 50 metros de profundidad destruyó 200 metros de vía de la línea del TAV Madrid-Sevilla, cerca de la localidad de Almodóvar del río (Córdoba). (Rodríguez, 1992).

Eventos recientes (Siglo XXI)

Los eventos más recientes suelen corresponder a desprendimientos. El 20 de diciembre de 2005 un gran desprendimiento afectó tres carriles de la autopista A-8 (Bilbao-Behobia) en la localidad de Deba (Guipúzcoa) por lo que cuatro vehículos quedaron atrapados sin víctimas mortales. En febrero de 2007 otro gran desprendimiento destruyó dos naves industriales, sepultó dos camiones y obligó a desalojar una vivienda en el pueblo de Ballobar (Aragón) (Figura 17). En 2003 se produjo un desprendimiento en una playa de Santa Cristina d'Aro (Girona) donde murieron dos personas. En el 2006, también en Cataluña, un desprendimiento aplastó una casa en la Juncosa (Lleida) provocando la muerte de sus dos habitantes. En diciembre del 2008 se manifestaron dos grandes desprendimientos en la Serra de Tramontana, uno de los cuales cubrió totalmente una vía principal de comunicación. Finalmente, el 1 de noviembre de 2009 dos personas perdieron la vida en la playa de Los Gigantes en Tenerife (Islas Canarias) (Figura 18).

Por otro lado, las tormentas torrenciales de la primavera del año 2000 en Cataluña provocaron una enorme corriente de derrubios que afectó el Monasterio de Montserrat (Barcelona). El flujo arrastró coches y cubrió diversos edificios. El hecho



Fig. 17: Desprendimiento de rocas que afectó unos almacenes en la población de Ballobar (Aragón).

de que el acceso al Monasterio estaba ya cerrado permitió que no hubiese ninguna víctima aunque el fenómeno fuese de gran intensidad.

CAUSAS DESENCADENANTES DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERAS.

Para que exista un movimiento de ladera es necesaria la presencia de un conjunto de factores condicionantes a la inestabilidad. Uno de ellos son los factores “intrínsecos” que corresponden a los existentes en la propia ladera como son las características del substrato geológico y la pendiente, éstos son la causa de que los movimientos de ladera se manifiesten en un determinado sector del territorio. Otros factores son los “externos” como por ejemplo la climatología, la densidad de vegetación y los usos del suelo por parte del ser humano. Finalmente, existen los factores “desencadenantes” que son los encargados de detonar finalmente el movimiento de ladera. Existen diferentes factores desencadenantes, pero los más relevantes en España son el agua, los terremotos, los procesos erosivos y las acciones antrópicas.

La saturación del substrato geológico por agua es la causa desencadenante principal. El agua puede llegar a la ladera por diferentes vías: episodios de lluvias extremas, intensas y periodos de lluvias prolongados. Normalmente, inundaciones y movimientos de ladera se suelen producir de forma sincrónica ya que los dos se manifiestan en episodios de lluvias extremas. Como ejemplo, citado ya en el apartado anterior, están las inundaciones de noviembre de 1982 en el Pirineo Catalán en donde se manifestaron centenares de deslizamientos superficiales en las laderas que recibieron más precipitación. Por otro lado, los periodos de lluvias prolongados contribuyen a aumentar el nivel freático de las aguas subterráneas y, por tanto favorecer a la inestabili-



Fig. 18: Bloques desprendidos en la playa de Los Gigantes (Tenerife). (Por cortesía de Lola Marro, <http://loquepasaentenerife.com>).

dad. En casos de macizos rocosos, los episodios prolongados contribuyen a la infiltración de agua en las discontinuidades más profundas de las rocas, lo cual puede desencadenar grandes desprendimientos (Copons, 2007). Un ejemplo está en la Serra de Tramuntana (Mallorca) a finales de 2008 en donde, después de un período de cuatro meses de lluvias y bajas temperaturas, se manifestaron dos grandes desprendimientos, uno de los cuales en “Son Cocó” con un volumen de 300.000m³ de roca movilizada (Figura 19) (Mateos *et al.*, 2009).

Los sismos producen temblores que contribuyen a la licuefacción de los materiales arcillosos saturados en agua, a la infiltración del agua dentro del suelo y a la movilización de los cuerpos rocosos inestables situados en vertientes rocosas. En España, los sismos son un factor desencadenante menos recurrente que las lluvias. Las zonas con mayor riesgo sísmico se encuentran en Andalucía. Como ejemplo está el deslizamiento de Güevéjar reactivado por sismos (ver la sección anterior del presente artículo).

Los antiguos deslizamientos pueden ser reactivados por la erosión de su pie por parte de las aguas fluviales, como por ejemplo el deslizamiento de Pont de Bar en 1982 (véase sección anterior). Por otro lado, la erosión marina en la base de los acantilados puede provocar movimientos de ladera, básicamente desprendimientos. Ejemplos de zonas costeras propensas a la inestabilidad son la costa Cantábrica, la bahía de Cádiz, Costa Brava y la costa norte de Mallorca (Corominas, 2006).



Fig. 19: Desprendimiento en la Serra de Tramuntana (Mallorca) en diciembre de 2008 durante un período de intensas lluvias. (Por cortesía de Rosa María Mateos, IGME).

Las **acciones antrópicas** pueden provocar cambios en las condiciones de estabilidad de las laderas. Durante el transcurso de una obra de ingeniería (embalse, túnel, desmonte, excavación, etc) se pueden modificar la geometría y la pendiente de terreno (Gonzalez de Vallejo, 2002). Un ejemplo es el deslizamiento de Sort (Lleida) a causa de la excavación de los taludes de la carretera N-260. Otras causas antrópicas que pueden contribuir en el desencadenamiento de movimientos de ladera son la construcción de embalses y los incendios forestales (Highland y Bobrowsky, 2008).

CONSECUENCIAS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA.

A escala mundial, los datos reflejan que hay un aumento de acontecimientos catastróficos causados por fenómenos naturales y un aumento de los daños causados por ellos. Los países menos desarrollados son los más afectados atendiendo al número de víctimas, pero los más desarrollados registran mayores pérdidas económicas porque el valor de los bienes expuestos al riesgo es mayor (Bonachea, 2006).

Normalmente, los movimientos de laderas causan pocas víctimas mortales en nuestro país. El acontecimiento estrictamente natural con más víctimas en España se encuentra en Azagra (Navarra) (véase sección 3). En el territorio español, entre los años 1990 y 2000, los desprendimientos provocaron 11 víctimas mortales y los deslizamientos 4, mientras que en situaciones laborales hubo 32 muertos a causa de los movimientos de ladera (Ayala-Carcedo *et al.*, 2004).

Los costes económicos directos son los que provienen de la reparación de los desperfectos causados por los movimientos de laderas y de las soluciones para reducir el riesgo (Copons, 2008). Ayala-Carcedo *et al.* (1987) estimaron que los costes económicos por movimientos de ladera para el período 1986-2016 serían alrededor de 50.000 millones de euros en una hipótesis de riesgo máximo y alrededor de 40.000 millones de euros en una hipótesis de riesgo medio. Es previsible que las pérdidas económicas se vayan incrementando a lo largo del tiempo considerando el modelo de crecimiento y la gestión del riesgo actual.

Las pérdidas económicas indirectas se imputan a la población afectada por los movimientos de ladera. La disminución de la actividad económica a causa de la interrupción de las comunicaciones o del transporte energético, la disminución del precio de una propiedad afectada por un deslizamiento y la afectación ecológica son pérdidas indirectas de alto coste y de difícil valoración (Copons, 2008).

La mejor manera de reducir los costes derivados de los movimientos de ladera es mejorar la gestión dirigida a controlar la ocupación del territorio expuesto al peligro. Las actuaciones de mitigación del riesgo suelen ser más económicas que reparar los desperfectos causados por eventos incontrolados.

ACCIONES PARA REDUCIR EL RIESGO

El concepto de riesgo geológico aparece cuando los procesos geológicos actúan sobre la población humana poniendo en peligro sus vidas y sus bienes. El riesgo natural se define como la pérdida o el daño anual esperado que puede medirse con criterios humanos (muertos, heridos o desalojes), económicos o estructurales y ecológicos (Ayala-Carcedo, 2002). Para reducir el riesgo es necesario implementar acciones de prevención, predicción, protección.

Las acciones de prevención pueden ser básicamente de dos tipos: las cartográficas y las educativas. Las cartográficas se fundamentan en la delimitación y caracterización de las áreas del terreno expuestas a movimientos de laderas, las cuales son útiles para la gestión de los usos del suelo (Figura 20). Las acciones divulgativas y educativas sobre autoprotección, tanto a nivel escolar como a nivel informativo, son especialmente útiles ya que es la estrategia más económica y eficaz a largo plazo (Copons, 2008).

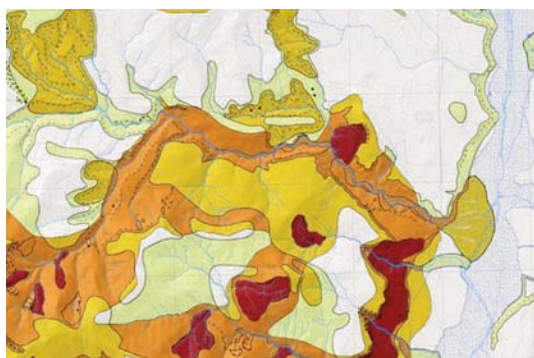


Fig. 20: Mapa de Prevención del Riesgo de l'Institut Geològic de Catalunya (IGC) (Oller et al.; 2009). A modo simplificado, los colores representan el grado de exposición al peligro: (i) las tonalidades rojas indican la exposición alta, (ii) las naranjas la media, y (iii) las amarillos la baja. En las zonas no coloreadas no se ha detectado ningún peligro de deslizamientos.

Las acciones de protección se basan en implementar estructuras de ingeniería que permitan disminuir el riesgo de las personas y sus bienes. Existen dos tipos de protecciones estructurales: las activas y las pasivas. Las protecciones activas son aquellas que ejercen una acción directa sobre el elemento inestable para fijarlo. Un ejemplo es las mallas que se instalan en vertientes rocosas, los anclajes y los bulones (Figura 21). Por otra parte, las protecciones pasivas son aquellas que no evitan que se desencadene el evento pero lo retienen antes de que llegue a la población amenazada, es el caso de las barreras dinámicas para desprendimientos (Figura 22). Los bosques también tienen su papel en la reducción del peligro para ciertos tipos de movimientos de ladera. A estos bosques se los llama "bosques de protección" y son tenidos especialmente en cuenta por las administraciones (Ley 43/2003 BOE280).



Fig. 21: Ejemplo de protección activa (malla pentifix) en Andorra la Vella en el año 2004. (Foto efectuada por R. Copons para Euroconsult S.A. en Andorra).

La estrategia de predicción se basa en la alerta temporal sobre "cuando" existe una probabilidad más alta de que se genere un movimiento de ladera. Actualmente no existe una estrategia de predicción con una efectividad comprobada para todo tipo de fenómeno. En el caso de los grandes deslizamientos, donde la presencia de agua es el principal agente desencadenante, se utilizan sistemas de auscultación para alertar de posibles reactivaciones como son los inclinómetros, los piezómetros y los extensómetros. Actualmente se está investigando en la aplicación de dos nuevas tecnologías: el Scan Laser (LIDAR) y la interferometría de radar (dinSAR) (Copons, 2008), la eficacia de los cuales esta todavía en vías de desarrollo.

MATERIAL PARA ACTIVIDADES EDUCATIVAS Y DIVULGACIÓN

A continuación se presenta una recopilación de recursos didácticos que se encuentran en diferentes páginas Web de Internet con el objetivo de proporcionar material para trabajar el riesgo de los movimientos de laderas en las aulas. Dada la extensa información existente en la red, se podría considerar



Fig. 22: Ejemplo de protección pasiva (barreras dinámicas) en Andorra la Vella. (Foto: Ramon Copons).

que la recopilación realizada es incompleta pero hemos seleccionado la información más relevante a nivel educativo.

Información en inglés

A un nivel elemental se puede consultar los esquemas expuestos en la Web <http://anaheim-landslide.com/types.htm>. A un mismo nivel, es interesante la página Web inglesa <http://www.soton.ac.uk/~imw/barteros.htm> en donde se puede observar la evolución de un deslizamiento mediante fotografías seriadas.

A un nivel más elevado, un marco teórico de referencia se puede encontrar en http://www.nationalatlas.gov/articles/geology/a_landslide.html. Los servicios geológicos de Estados Unidos (www.usgs.gov); <http://landslides.usgs.gov>; <http://pubs.usgs.gov>, de Canadá (<http://gsc.nrcan.gc.ca>) y del Reino Unido (<http://www.bgs.ac.uk/home.html>), entre otros, desarrollan una importante tarea de divulgación científica de los movimientos de ladera a partir de imágenes espectaculares (ejemplos “de libro”) y de esquemas simplificados para entender las mecánicas de los procesos. En la página Web de Suiza <http://www.planat.ch/index.php?l=e>, en el apartado de “Natural Hazards”, también encontramos fotografías ilustrativas tomadas en los Alpes.

Videos de sucesos reales espectaculares, que pueden utilizarse como actividad de motivación, se pueden encontrar en las páginas Web <http://www.break.com/findvideo/landslide> y <http://faculty.gg.uwo.edu>, ésta última de la universidad de Wyoming. De forma más general, para consultar información sobre imágenes y videos se puede acceder en el buscador Google y en la página <http://www.youtube.com>. En su búsqueda es recomendable utilizar los términos en inglés expuestos en el presente artículo. Por ejemplo, si en la página “youtube” se busca mediante el término “landslide” o “debris flow” encontraremos videos espectaculares de estos fenómenos.

Información en español

En la Web <http://www.revistanova.org> hay un artículo dedicado a los deslizamientos que explica, de una forma muy básica, el concepto y la tipología de los deslizamientos. También encontramos una base de información a un nivel más elevado en la Web <http://club.telepolis.com/geografo/geomorfo- logia/movmasiv.htm>. En la página Web de “Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de Las Américas” (<http://www.eird.org>) hay una gran cantidad de material didáctico dirigido a la mitigación del riesgo geológico. En un artículo publicado por Brusi (2008) se pueden obtener ideas interesantes e información para realizar actividades prácticas y de motivación en la aula.

En la red también se pueden encontrar juegos relacionados con el riesgo de deslizamientos. Un ejemplo es la página <http://www.sire.gov.co>, en donde en el apartado de “niños” y luego “juegos”,

se muestra un juego muy didáctico a nivel infantil para aprender sobre la reducción del riesgo de deslizamientos e inundaciones.

El Gobierno de España, a través la página Web <http://www.inforiesgos.es>, pone a nuestro alcance la información básica en el campo de los riesgos de movimientos de laderas con mayor rigor científico. En la página Web de protección civil (<http://www.proteccioncivil.org>), concretamente en el apartado de “Dirección General de Protección Civil y Emergencias” y luego “Información y documentación”, se puede encontrar material didáctico relacionado con la descripción del fenómeno y con la prevención de los riesgos geológicos. También se pueden encontrar animaciones de algunos de los procesos incluidos en los movimientos de ladera en la página web <http://www.bioygeo.info/AnimacionesCTM2.htm>

Para comprender la importancia de este fenómeno es esencial conocer algunos de los eventos más devastadores a nivel mundial y estatal. En la Web <http://www.construmatica.com> hay un registro histórico de los eventos más catastróficos a escala mundial provocados por diferentes procesos entre ellos las inestabilidades. En la web <http://azagra0.galeon.com/tragediasdeazagra.htm> explica desde el punto de vista histórico los desprendimientos ocurridos en el pueblo de Azagra.

En la página http://webs2002.uab.es/_c_gr_geocamp/geocamp/1024/index.htm se encuentra una guía útil para preparar las actividades de campo con los alumnos. Un ejemplo de actividades de campo se puede consultar en la página Web http://www.xtec.cat/iesterresdeponent/c_naturals/itinerari_conca_tremp/index.html.

Finalmente, es interesante estar pendiente de los sucesos que tienen lugar a lo largo del curso y que, por su proximidad o por sus características, pueden ser interesantes de tratar en el aula. En estos casos, las páginas de los periódicos y de las televisiones pueden ser de gran ayuda para encontrar material sobre eventos muy recientes.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de las actividades divulgativas sobre riesgos geológicos que lleva a cabo la empresa Georisc S.L.P. Los servicios geológicos de los Estados Unidos, del Canadá, de la Gran Bretaña y de Cataluña han consentido la utilización de su información en este artículo. También se agradece la cortesía de los autores de las imágenes expuestas. Pere Tallada, psicólogo y maestro de primaria, ha asesorado en la redacción del apartado relacionado con las actividades educativas y divulgativas. Laura Pallarés ha colaborado en la delineación de la figuras.

BIBLIOGRAFÍA

Ayala-Carcedo, F.J. (2002). Análisis de riesgos por movimientos de ladera. En: Ayala-Carcedo, F.J. y Olcina, J. (Eds.). *Riesgos naturales*. Ed. Ariel, Barcelona, 379- 407.

- Ayala-Carcedo, F.J., Ferrer, M., González de Vallejo L.I., y Bertran de Herdía F. (1988). *Catálogo nacional de riesgos geológicos*. Instituto Tecnológico GeoMinero de España, Madrid.
- Ayala-Carcedo, F.J., Olcina J. y Vilaplana J.M. (2004). *Impacto social de los riesgos naturales en España en el período 1990-2000 (II)*. Fundación Mapfre y Fundación Mapfre Estudios.
- Bonachea J., (2006). *Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos*. Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada. Universidad de Cantabria. Tesis Doctoral.
- Brabb, E., y Harrods, B. (1989). *Landslides. Extend and Economic Significance*. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Brusi, D. (2008). Simulando catástrofes. Recursos para la enseñanza de los riesgos naturales. *Alambique* 55, 32-42
- Carracedo, Pérez-Torrado, Paris y Rodríguez-Badiola (2009). Megadeslizamientos en las Islas Canarias. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 17.1. 44-56
- Copons, R. (2007). *Avaluació de la perillositat de caigudes de blocs rocosos al Solà d'Andorra la Vella*. Monografies del CENMA. Institut d'Estudis Andorrans. 213pp + 11 mapas.
- Copons, R. (2008). El risc d'esllavissades a Catalunya. En: Vilaplana, J.M. (Ed.). *RISKCAT: Els riscos naturals a Catalunya*. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible, Generalitat de Catalunya. 35pp. (CD anexo). www15.gencat.net/cads/AppPHP/.../el_risc_desllavissades_a_catalunya.pdf
- Corominas, J. (1985). Els riscos geològics. En: *Recursos Geològics i sòls* (D. Serrat, Coord.). Història Natural del Paísos Catalans, Fundació Enciclopèdia Catalana. Barcelona. 3, 225-270.
- Corominas, J. (2006). El clima y sus consecuencias sobre la actividad de los movimientos de ladera en España. *Cuaternario y Geologia*, 20 (3-4). 89-113.
- Corominas, J. y Yagüe, A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. *Actas del IV Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables*. Granada, 1051-1072.
- Cruden, D.M. y Varnes, D.J. (1996). Landslides types and processes. En: Turner, A. i Schuster (Eds.). *Landslides. Investigation and mitigation*. Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC, 36-75.
- Ferrer, M. (1997). Algunos deslizamientos históricos en España (1600-1950) *Actas del IV Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables*. Granada, 741-746
- Gonzalez de Vallejo L.I., Ferrer M., Ortuño L., Oteo C. (2002). *Ingeniería geológica*. Pearson Educación. Madrid, 703pp.
- Highland, L. y Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook – A guide to understanding landslides*. Circular 1325. U.S. Geological Survey. 129.
- Hürlimann, M. (1999). *Geotechnical analysis of large volcanic landslides: The La Orotava events on Tenerife Canary Islands*. Departamento de ingeniería del terreno, cartografía y geofísica. Universitat Politècnica de Catalunya. Tesis doctoral.
- Jiménez Pintor J. y Azor A. (2006). El Deslizamiento de Güevéjar (provincia de Granada): un caso de inestabilidad de laderas inducida por sismos. *Geogaceta* 40: 287- 290.
- Lomoschitz A. y Corominas J. (1997). La depresión de Tirajana, Gran Canaria. Una macroforma erosiva producida por grandes deslizamientos. *Cuaternario y Geologia*, 11 (3-4). 75-92.
- Mateos, R.M., Garcia-Moreno I., Azañón J.M., Tsige M. (2009). La avalancha de rocas de Son Cocó (Alaró, Mallorca) del 19 de diciembre de 2008. *Actas del VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables* (Alonso, E. Corominas, J. y Hürlimann, m. Eds.). Barcelona, 303- 314.
- Oller, P.; Barberà. M.; González, M.; Pinyol, J.; Marturià, J. y Martínez, P. (2009). El Mapa de Prevención de riesgos geológicos de Cataluña 1:25.000. *Actas del VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables* (Alonso, E. Corominas, J. y Hürlimann, M. Eds.). Barcelona, 817-828.
- Rodríguez, J.M., Durán J.J., Ayala-Carcedo F.J., Prieto C. (1987). *El deslizamiento de Los Olivares (Granada) de abril de 1986*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- Rodríguez, J.M (1992). El deslizamiento de Almodóvar del Río de marzo de 1991. Una aproximación metodológica. *Actas del III Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. La Coruña, 461-472
- Sanz, E. (1992) El deslizamiento de ladera de Güevéjar (Granada) durante los terremotos de Lisboa (1755) y Andalucía (1884). *Actas del III Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*. La Coruña, 195-203.
- Varnes, D.J. (1978). Slope movement types and processes. En: Shuster, R.L. y Krizek, R.J. (Eds.). *Landslides: Analisis and control*. Special Report 176. Transportation Reserch Borrada. National Reserch Council, Washington D:C: 11-33.
- Vidal, L.M. (1881). Nota acerca de los hundimientos ocurridos en la Cuenca de Tremp (Lérida) en Enero de 1881. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, Tomo VIII, 113-129. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 18 de septiembre de 2009 y aceptado definitivamente para su publicación el 27 de diciembre de 2009.