

# GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS INVENTARIO Y DE SUSCEPTIBILIDAD DE MOVIMIENTOS DE LADERA A ESCALA 1/50.000

## ÍNDICE

<b>UTILIDAD Y APLICACIÓN DE LA GUÍA</b>	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	2
<b>2. LOS MOVIMIENTOS DE LADERA</b>	4
2.1. Aspectos generales	4
2.2. Características y tipología	5
<b>3. LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN ESPAÑA</b>	10
3.1. Extensión y tipos	10
3.2. Causas principales	13
<b>4. RIESGOS POR MOVIMIENTOS DE LADERA EN ESPAÑA</b>	15
<b>5. MAPAS DE MOVIMIENTOS DE LADERA</b>	18
5.1. Antecedentes	18
5.2. Tipos de mapas	19
<b>6. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DE LADERA</b>	28
6.1. Introducción	28
6.2. Recopilación y revisión de información existente	28
6.3. Reconocimientos de campo	29
6.4. Elaboración del mapa inventario a escala 1:50.000	32
- Base cartográfica	32
- Elementos a representar (contenido del mapa)	32
- Métodos de representación	35
<b>7. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRITORIO A LOS MOVIMIENTOS DE LADERA</b>	40
7.1. Introducción	40
7.2. Evaluación y zonificación de la susceptibilidad	40
- Evaluación de la susceptibilidad	41
- Clasificación del territorio	47
7.3. Elaboración del mapa de susceptibilidad	51
- Base cartográfica	51
- Elementos a representar (contenido del mapa)	52
- Métodos de representación	53
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	56
<b>BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA</b>	57
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>	58

## UTILIDAD Y APLICACIÓN DE LA GUÍA

Los movimientos de ladera son procesos naturales o inducidos por actividades humanas que pueden causar daños en construcciones e infraestructuras, y en ocasiones provocar víctimas.

Para evitar o reducir en lo posible estos efectos es necesario conocer las zonas en que pueden ocurrir movimientos de ladera, así como las características de los mismos. Una de las formas más efectivas y útiles de presentar esta información es mediante su representación en mapas que muestran las zonas afectadas o que pueden ser afectadas en un futuro, y los factores que condicionan estos procesos.

Los mapas de movimientos de ladera permiten tomar las medidas oportunas para el desarrollo de actividades y construcciones a salvo de los daños que estos pudieran ocasionar. Las principales aplicaciones de estos mapas son la ordenación territorial y urbana y la selección de emplazamientos y trazados para infraestructuras e instalaciones industriales, mediante la identificación de zonas peligrosas o potencialmente peligrosas.

Los mapas pueden presentar diferente tipo de información, en función de su finalidad, aplicaciones e información disponible. La realización de los mapas es la última etapa de un proceso que se inicia con el estudio y análisis de los procesos presentes en una zona, de las características geológicas y orográficas presentes y de los factores que condicionan la ocurrencia de los movimientos de ladera.

Esta guía presenta la metodología para la preparación de los mapas inventario y de susceptibilidad de movimientos de ladera a escala 1/50.000. Los trabajos que se describen en los apartados 6 y 7 deben considerarse como los mínimos a desarrollar para la realización de los mapas; en ellos se incluyen las líneas básicas de la metodología a seguir para la preparación de los mapas. En el Capítulo 5 del Documento 1 “Directrices técnicas para la realización de inventarios y zonificación de la susceptibilidad y peligrosidad por movimientos de ladera en el Plan Prigeo” se incluyen descripciones y especificaciones para el desarrollo de las diferentes fases que aquí se presentan, así como las indicaciones necesarias para llevar a cabo cada una de las actividades encaminadas a la realización de las cartografías.

## 1. INTRODUCCIÓN

La cartografía de los procesos geodinámicos naturales que pueden constituir riesgos para las personas y el medio antrópico tiene por finalidad evitar y reducir o mitigar estos riesgos.

La representación espacial de los procesos, o de las zonas que están o pueden estar afectadas en un futuro por ellos, permite conocer las áreas peligrosas y, por tanto, adoptar las medidas adecuadas para evitar los posibles daños o, en algunos casos, evitar que ocurran los propios procesos, minimizarlos o frenarlos.

Los **movimientos de ladera**, movimientos gravitacionales de masas de suelos o rocas que ocurren en las laderas naturales, son los procesos geodinámicos más extendidos sobre la superficie del planeta, afectando a cualquier tipo de materiales geológicos, relieve o región climática. Forman parte del ciclo evolutivo de la superficie terrestre, erosionando las vertientes y laderas en busca del equilibrio del terreno. Pero en ocasiones, este ciclo natural se ve influido por las actividades o actuaciones antrópicas, que contribuyen a desencadenar inestabilidades y movimientos en las laderas naturales.

Así como otros procesos geológicos siguen sus propias leyes de ocurrencia, sin ninguna relación con las intervenciones del hombre, como los terremotos o las erupciones volcánicas, los movimientos de ladera sí pueden ser condicionados y provocados por el hombre, como le sucede a la mayoría de los procesos dinámicos llamados “externos” que actúan sobre la superficie de la tierra (procesos erosivos, subsidencias, hundimientos...).

Los movimientos de ladera no constituyen habitualmente procesos catastróficos o violentos, como los terremotos o las inundaciones, aunque por su gran extensión y frecuencia representan un riesgo geológico muy importante, afectando a vías de comunicación, edificaciones, conducciones de abastecimiento, cauces y embalses, etc. y, ocasionalmente, a poblaciones. Los movimientos de gran magnitud (con decenas, incluso cientos, de millones de metros cúbicos) son muy poco frecuentes, aunque la superficie terrestre está llena de signos que denotan su ocurrencia en el pasado, posiblemente asociada a épocas climáticas más húmedas y lluviosas o a actividad tectónica más intensa.

Por otro lado, son quizá los procesos naturales más previsibles y más sensibles a las medidas de mitigación y corrección para la prevención de los daños que pueden ocasionar. Incluso pueden realizarse predicciones de su ocurrencia en el tiempo en una zona determinada en los casos en que los movimientos estén determinados por factores conocidos (por ejemplo, asociados a precipitaciones intensas). Este no es el caso de los grandes deslizamientos a escala geológica que en ocasiones ocurren en la superficie terrestre,

generalmente asociados a grandes terremotos, erupciones volcánicas o tormentas torrenciales. En estos casos, ante la magnitud y los grandes volúmenes de materiales movilizados, no es posible ninguna actuación sobre los procesos.

En el campo de los riesgos geológicos, en sentido amplio, se emplea una terminología propia para definir la peligrosidad, el riesgo y la vulnerabilidad. El término “riesgo” se emplea frecuentemente para referirse a cualquier proceso más o menos violento o catastrófico que ocurre sobre la superficie terrestre, aplicándose también como sinónimo de peligrosidad, aunque ambos conceptos son diferentes y tienen su propia definición. La peligrosidad se refiere al proceso geológico y el riesgo a las pérdidas y daños ocasionados; la vulnerabilidad es el grado de daños o pérdidas potenciales que un elemento puede sufrir como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada y depende de las características del elemento y de la intensidad del fenómeno.

La peligrosidad puede definirse como la probabilidad de que ocurra un fenómeno de una intensidad y características determinadas en una zona específica y en un periodo de tiempo dado. Para su evaluación es necesario conocer dónde y cuándo ocurrieron los procesos en el pasado, la intensidad y magnitud que tuvieron, las zonas en que pueden ocurrir procesos futuros y la frecuencia con que ocurrirán. Es decir, la peligrosidad incorpora una predicción temporal, cuya evaluación es compleja y difícil. Por tanto, la gran mayoría de los mapas llamados de peligrosidad, o de riesgo, son mapas de susceptibilidad, en los que se muestra la distribución espacial de los procesos esperables, y/o de las zonas que quedarán afectadas, pero no se indican sus pautas temporales de ocurrencia.

## 2. LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

### 2.1. Aspectos generales

Los movimientos de ladera pueden definirse como los movimientos gravitacionales de masas de suelos o rocas que tienen lugar en las laderas, debido a los reajustes por variación de las condiciones de estabilidad a que éstas están sometidas. En ocasiones estos movimientos involucran un volumen importante de material.

Los movimientos de ladera, generalmente englobados bajo el término de deslizamientos, son el resultado del carácter dinámico del medio geológico y de la evolución natural del relieve, pero también pueden ser provocados o desencadenados por el hombre al interferir con la naturaleza y modificar las condiciones naturales de las laderas.

Son uno de los procesos erosivos más extendidos, provocando la destrucción de vertientes en cualquier región climática y afectando a todo tipo de materiales. En ocasiones pueden causar importantes daños y pérdidas económicas, incluso víctimas, cuando afectan a las actividades y a las construcciones humanas. Su ocurrencia en lugares poblados por el hombre o afectados por sus construcciones constituye el riesgo ligado a este tipo de fenómenos.

El gran número de factores que influyen, condicionan y provocan los movimientos de ladera, tanto intrínsecos a los materiales geológicos como externos, da lugar a una gran variación en las tipologías de los movimientos, mecanismos de rotura, escalas y velocidades de desplazamiento, haciendo difícil su clasificación.

Los deslizamientos de suelos o de masas rocosas y los desprendimientos de bloques rocosos son los tipos de movimientos más extendidos, que frecuentemente afectan a vías de comunicación, carreteras y vías de ferrocarril, a laderas de embalses, valles fluviales y zonas montañosas en general. Los desprendimientos se diferencian de los deslizamientos porque una parte de la trayectoria del material roto es aérea.

La influencia de las actividades humanas en la ocurrencia de los movimientos de ladera es un aspecto importante a tener en cuenta en cuanto a la predicción y prevención de los mismos. Las grandes excavaciones y obras lineales, las voladuras y la construcción de embalses y escombreras sobre laderas pueden dar lugar al desarrollo de inestabilidades con resultados desastrosos y cuantiosas pérdidas económicas.

En las zonas montañosas y de grandes relieves, con pendientes abruptas, son frecuentes los movimientos de ladera de todo tipo, ocurriendo los de mayor magnitud y volumen; no obstante, al no ser zonas pobladas en su gran mayoría ni con infraestructuras, no suponen

riesgos económicos o sociales considerables. En estas áreas el mayor efecto es el causado sobre la topografía (erosión, interrupciones o desvíos de cauces fluviales, creación de lagunas artificiales, aterramientos, etc.).

## 2.2. Características y tipología

Los diferentes tipos de movimientos de ladera pueden clasificarse según el material geológico afectado, el mecanismo y tipo de la rotura, la velocidad de los procesos, etc. En la Figura 1 se muestra una clasificación general de los movimientos de ladera.

Los **deslizamientos** son movimientos gravitacionales de masas de roca o suelo que deslizan sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte en estos planos. El material se mueve en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido. Su velocidad puede ser muy variable, pero en general son procesos rápidos que pueden llegar a alcanzar grandes proporciones (millones de metros cúbicos).

La geometría del plano de rotura y el tipo de material involucrado (rocas, suelos o derrubios), son los factores fundamentales contemplados en las clasificaciones de deslizamientos. Los deslizamientos en formaciones poco competentes (suelos o macizos rocosos fracturados y muy alterados) suelen producirse a favor de superficies de rotura curvas, superficiales o profundas (Figuras 2 a 4), recibiendo el nombre de **deslizamientos rotacionales**.

En formaciones rocosas fracturadas pueden tener lugar deslizamientos a favor de planos de debilidad (discontinuidades estructurales o superficies de contacto entre materiales de diferente competencia) con direcciones más o menos paralelas a la cara del talud. La rotura suele ser poco profunda en relación a su longitud, y reciben el nombre de **deslizamientos translacionales**.

En formaciones menos competentes (suelos cohesivos por ejemplo) este tipo de movimientos pueden tener lugar a favor de niveles más o menos duros intercalados y con buzamientos en el mismo sentido de la pendiente.

Los **flujos o coladas** son movimientos de masas de suelos (flujos de barro o tierra) o derrubios (coladas de derrubios) donde el material se comporta como un fluido, sufriendo una deformación continua y sin presentar superficies de rotura definidas. El agua es el principal agente desencadenante, por la pérdida de resistencia a que da lugar en materiales poco cohesivos. Principalmente afectan a materiales arcillosos susceptibles que sufren una considerable pérdida de resistencia al ser movilizados (Figura 5); estos movimientos, poco profundos en relación a su extensión, presentan una morfología tipo

glaciar, y pueden tener lugar en laderas de bajas pendientes, incluso menores de  $10^\circ$ . Pueden darse también flujos de fragmentos rocosos.

Las **reptaciones y solifluxiones** son movimientos superficiales de laderas encuadrados dentro de los flujos y que afectan a suelos o sustratos meteorizados.

Los **desprendimientos** son caídas de bloques individualizados previamente por discontinuidades o superficies de rotura. Generalmente este mecanismo ocurre en laderas escarpadas o en escarpes y acantilados rocosos pudiendo afectar, también, a suelos duros cohesivos. Los planos de rotura pueden ser discontinuidades estructurales o grietas de tracción, provocadas por el estado tensional a que se encuentra sometido el escarpe o por acción del agua o del hielo (Figura 6).

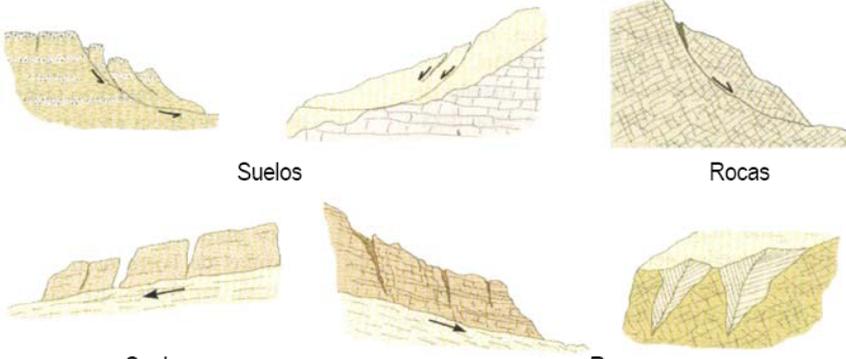
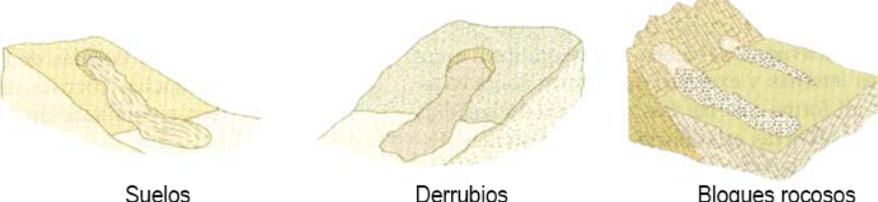
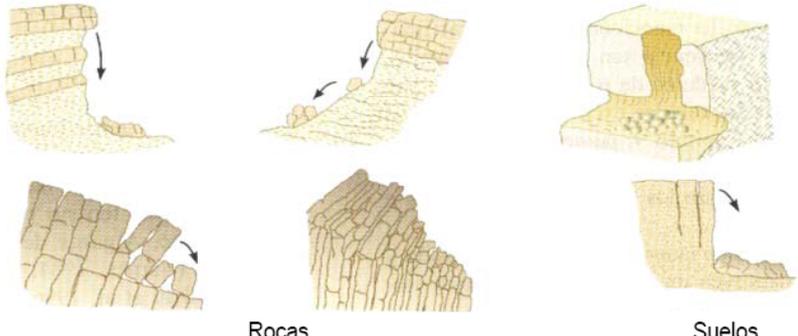
<p>Desprendimientos rotacionales</p> <p>Deslizamientos traslacionales</p>	 <p>Suelos</p> <p>Rocas</p> <p>Suelos</p> <p>Rocas</p>
<p>Flujos</p>	 <p>Suelos</p> <p>Derrubios</p> <p>Bloques rocosos</p>
<p>Desprendimientos</p> <p>Vuelcos</p>	 <p>Rocas</p> <p>Suelos</p>
<p>Avalanchas</p>	 <p>Rocas</p> <p>Derrubios</p>
<p>Desplazamientos laterales</p>	 <p>Suelos</p> <p>Bloques rocosos</p>

Figura 1. Clasificación de los movimientos de ladera (González de Vallejo et al., 2004)

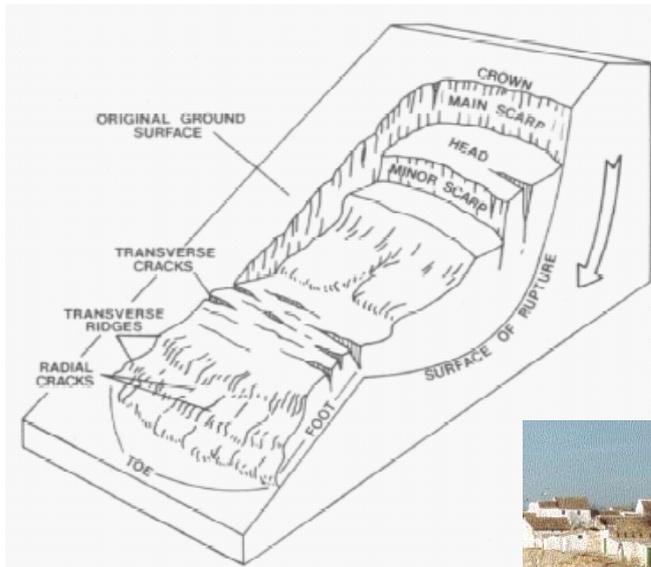


Figura 2. Esquema de deslizamiento rotacional (Varnes, 1984)

Figura 3. Grieta de cabecera de un gran deslizamiento rotacional afectando a las casas de una población situada en la parte alta de la ladera.

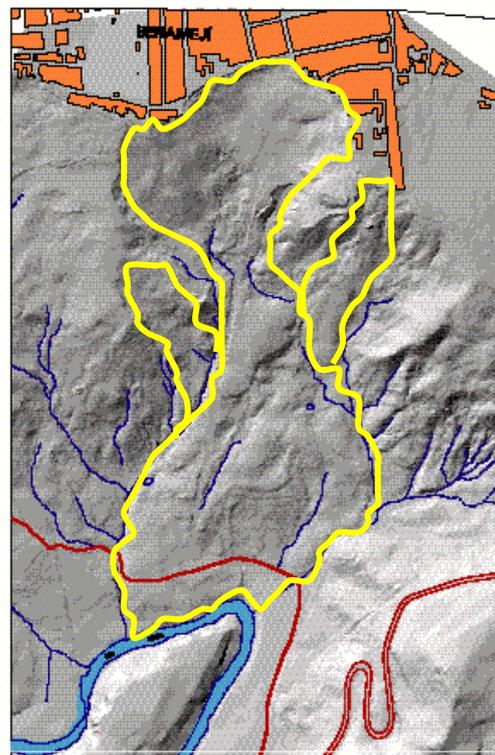


Figura 4. Fotografía aérea del deslizamiento de la Figura 3 (izquierda) y ortofotomapa de la zona (derecha) con los límites del deslizamiento, de 900 m de longitud (IGME, 1991)



Figura 5. Flujo de barro descendiendo hacia el pie de la ladera. Se observa la gran cantidad de agua presente. Ancho de la colada  $\approx$  10 m.



Figura 6. Bloque rocoso independizado del escarpe con peligro de inestabilidad y desprendimiento. Altura de la foto  $\approx$  15 m.

### 3. LOS MOVIMIENTOS DE LADERA EN ESPAÑA

#### 3.1. Extensión y tipos

Las características orográficas de gran parte del territorio español, con un relieve accidentado y montañoso, hacen que los movimientos de ladera sean frecuentes, a lo que también contribuye en gran medida los tipos de materiales geológicos presentes y las características meteorológicas, sobre todo los regímenes de las precipitaciones. Como consecuencia, puede decirse que los movimientos de ladera son los movimientos del terreno más extendidos y frecuentes en España, muy por encima de otros procesos como subsidencias y hundimientos del terreno o aquellos asociados a procesos sísmicos, volcánicos o tectónicos. Estos ocurren sobre todo en las zonas montañosas y en las grandes cuencas fluviales terciarias del país.

La Figura 7 presenta un esquema con la distribución esquemática de los movimientos de ladera en España. Se han representado zonas con movimientos actuales y/o potenciales, diferenciando entre áreas con deslizamientos predominantes, áreas con desprendimientos predominantes y áreas con ambos tipos de fenómenos. Dentro del término deslizamientos se incluyen otros tipos de movimientos de ladera como los flujos, y dentro del término desprendimiento se han contemplado, así mismo, las avalanchas de rocas o derrubios.

Gran parte del territorio español es proclive a los movimientos de ladera. Las zonas montañosas, Cordillera Cantábrica, Pirineos, Cadenas Costero-Catalana, Ibérica y Béticas, aparecen en el mapa como áreas propensas a los deslizamientos y desprendimientos en general. En menor medida aparecen también áreas situadas en las zonas Centro Ibérica, Sur-Portuguesa y Ossa-Morena del Macizo Hespérico.

Los tipos de movimientos más frecuentes en estas zonas son los desprendimientos y deslizamientos rocosos en formaciones competentes o deslizamientos rotacionales y complejos y movimientos tipo flujo en formaciones blandas, suelos o sustratos alterados que aparecen en estas zonas.

Como zonas más propensas a los movimientos de tipo deslizamientos aparecen algunas áreas de las Cuencas Terciarias del Guadalquivir, Tajo y Duero, caracterizadas por la presencia de materiales areno-arcillosos y/o yesíferos que, debido al encajamiento de los ríos y a la erosión que sufren por parte de estos, pueden desarrollar este tipo de movimientos; los materiales triásicos y neógenos aflorantes en España, ampliamente representados en las Béticas, son propensos también a sufrir deslizamientos por sus características litológicas y resistentes.

Las Figuras 8 a 11 muestran diversos tipos de movimientos de laderas, condicionados por factores como el relieve, la litología, el clima, etc.

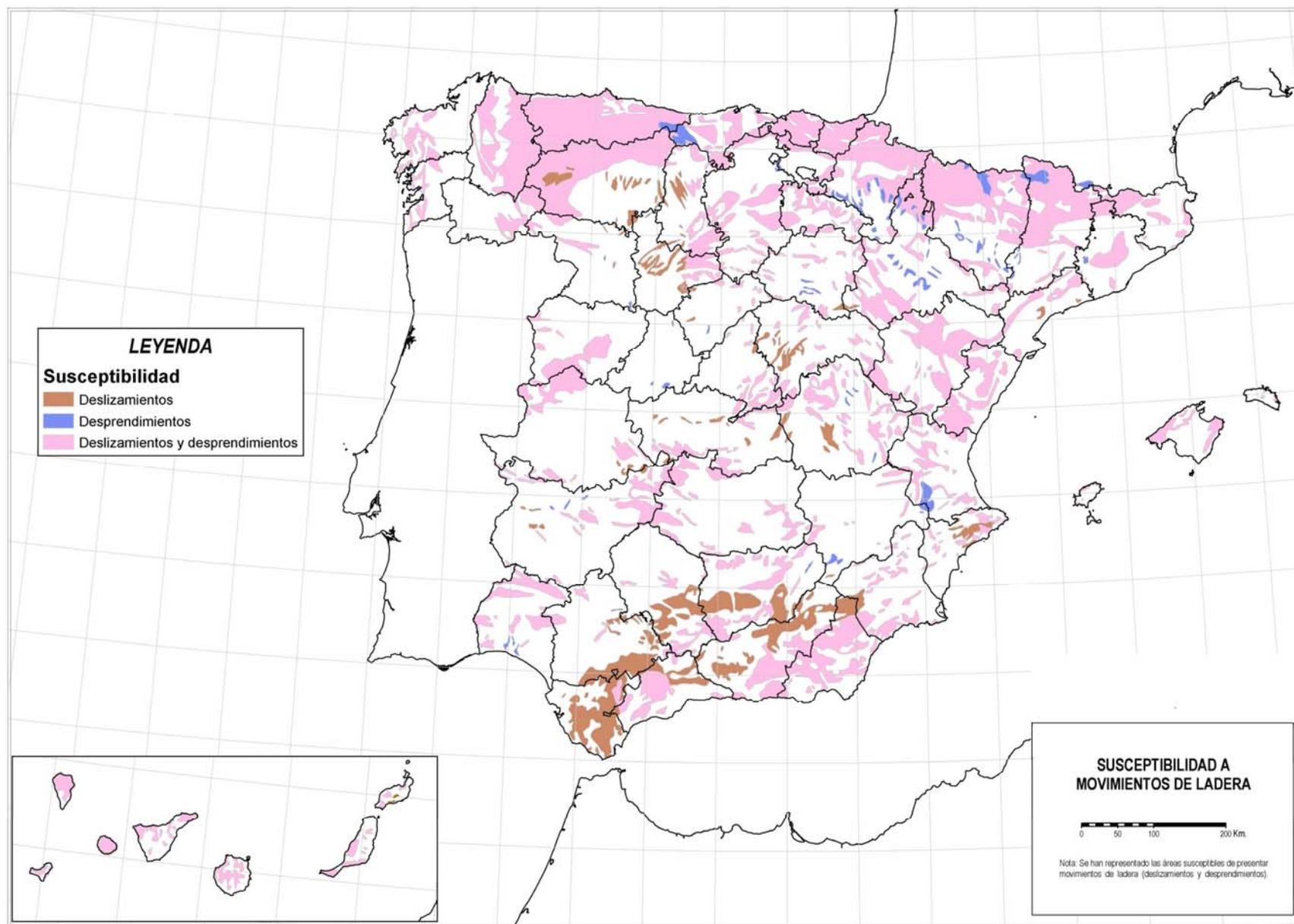
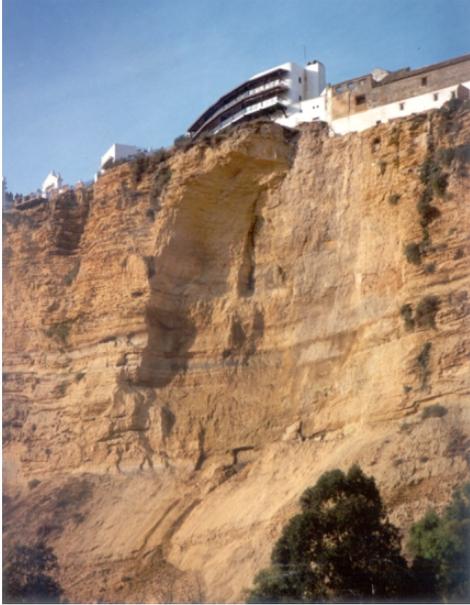


Figura 7. Distribución de los movimientos de ladera en España (Ferrer, 1987)



Figuras 8 a 11. Ejemplos de movimientos de ladera en distintas zonas de España afectando a edificaciones e infraestructuras: desprendimientos rocosos (arriba), deslizamiento rotacional (abajo izquierda) y flujo de tierra (abajo derecha)

Los desprendimientos de bloques rocosos son más frecuentes y extendidos en las zonas montañosas abruptas y escarpadas, y en depresiones fluviales con ríos encajamientos, con paredes verticales de las que pueden desprenderse bloques por acción de la erosión diferencial en la base de los paquetes que forman el pie de las laderas. Las Islas Canarias, debido a su relieve abrupto y al carácter volcánico de los materiales que las constituyen (con coladas fracturadas y depósitos de piroclastos que dan laderas muy escarpadas), son propensas a la ocurrencia de desprendimientos de bloques que afectan, sobre todo, a vías de comunicación (Figura 12).

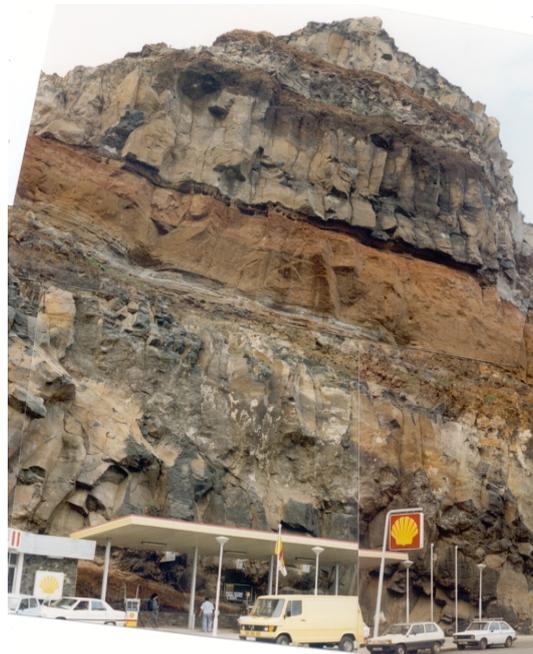


Figura 12. Desprendimientos en materiales volcánicos por erosión diferencial y fracturación de los niveles rocosos

### 3.2. Causas principales

Las principales causas que provocan los movimientos de ladera en España son las precipitaciones y las actuaciones antrópicas.

Las lluvias intensas o prolongadas pueden desencadenar la rotura de los materiales de las laderas que están en condiciones cercanas al equilibrio. Influyen factores como la intensidad de precipitación horaria o diaria, la lluvia acumulada en los meses previos, el grado de saturación del terreno, etc. En el Cuadro 1 se presentan los resultados obtenidos

de un estudio sobre umbrales de precipitación desencadenantes de movimientos de ladera realizado para algunos casos españoles. En las dos primeras columnas se comparan las precipitaciones del año previo al movimiento con las medias anuales, y en las tres columnas siguientes se muestran los porcentajes de las lluvias caídas en los 3-4 meses previos al movimiento con respecto a la precipitación total del año previo y a la media anual de la serie. Como puede observarse, en algunos casos las lluvias de los meses previos a los movimientos suponen hasta el 60% y 80% de la precipitación del año previo (casos de deslizamientos y flujos de tierra o barro), y superan, en general, los valores de precipitación media anual (obtenidos de las series meteorológicas correspondientes a cada área de estudio), indicando periodos inusualmente lluviosos para el año previo al movimiento.

Cuadro 1. Relación entre precipitaciones y desencadenamiento de movimientos de ladera

Tipo de movimiento	Precipitación anual (mm)		Precipitación en los 3-4 meses previos (mm)		
	Total en el año previo	Media anual de la serie	Total en los meses previos	% de la P total del año previo	% de la P media anual de la serie
Deslizamientos	500 a 1000	500 a 800	300 a 500	50 – 60%	≤ 30%
Flujos de tierra	500 a 800	600 a 700	300 a 400	50 – 80%	50 – 60%
Flujos de derrubios	≥ 1300	1100 a 1200	350 a 650	30 – 50%	50 – 120%
Desprendimientos	250 a 700	220 a 450	100 a 250	≤ 30%	50 – 130%

P = precipitación; \* series analizadas entre 30 y 70 años. Ferrer y Ayala (1997)

La mayor o menor incidencia de las precipitaciones en el desencadenamiento de movimientos de ladera depende de las características climáticas y meteorológicas de las diferentes regiones. Las máximas precipitaciones se dan en el norte, con 120 a 180 días de lluvia al año; las zonas con clima continental tienen entre 40 y 120 días de lluvia, dependiendo de la orografía; la región mediterránea (este y noreste) y Baleares entre 40 y 60 días de lluvia, mientras que la parte sureste constituye la zona más árida, con menos de 20 días de lluvia al año. Las lluvias torrenciales caracterizan al clima mediterráneo, sobrepasándose en ocasiones la media anual en unos pocos días de lluvias intensas.

Los actuaciones antrópicas que más frecuentemente influyen en el desencadenamiento de inestabilidades en las laderas son las excavaciones en la zona de pie y los cambios de las condiciones hidrogeológicas de las mismas debido a modificaciones en la red de flujo o en el drenaje, por extracciones, bombeos, pérdidas en redes de abastecimiento o saneamiento, etc. Es frecuente el desencadenamiento de antiguos deslizamientos “fósiles” por estos motivos.

#### 4. RIESGOS POR MOVIMIENTOS DE LADERA EN ESPAÑA

El riesgo puede definirse como el conjunto de pérdidas y daños, económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, ocasionados por los procesos de movimientos de ladera.

Ya se ha comentado que generalmente estos procesos no ocurren de forma catastrófica ni violenta, salvo excepciones, por lo que no es frecuente que se produzcan víctimas. Sin embargo, en ocasiones tienen lugar en la superficie terrestre movimientos de gran magnitud o muy rápidos que sí causan impactos importantes, generalmente provocados por tormentas torrenciales, terremotos de cierta magnitud o erupciones volcánicas.

Los daños por movimientos de ladera dependen de:

- la velocidad y magnitud del proceso; los movimientos pueden ocurrir de forma violenta y catastrófica (grandes deslizamientos repentinos) o lenta (algunos flujos y otros tipos de movimientos de ladera)
- la posibilidad de prevención y predicción, que depende del tipo de movimiento, su velocidad y magnitud o volumen
- la posibilidad de actuar sobre el proceso y controlarlo, o frenarlo
- las medias de protección de los elementos expuestos a sus efectos.

Los grandes deslizamientos y avalanchas de millones de metros cúbicos en zonas montañosas quedan fuera del alcance y control humano, y por lo tanto no pueden realizarse medidas de ningún tipo sobre los procesos.

En España, los movimientos de ladera suponen las mayores pérdidas económicas provocadas por procesos geodinámicos externos (sin considerar las inundaciones ni los procesos erosivos). Aunque debido a la dificultad de su evaluación no existen datos recientes a nivel nacional, en un estudio realizado por el Instituto Geológico y Minero (IGME, 1987), se calcularon unas pérdidas en torno a los 5.000 millones de euros para el periodo 1986-2016, con un valor medio anual de unos 165 millones; la mayor parte de las pérdidas derivan de los daños ocasionados en carreteras y vías de ferrocarril y de los costes de las obras de reparación. Aunque han pasado 20 años del citado trabajo, no se dispone de cifras para verificar estos datos. Las mayores pérdidas previstas por movimientos de ladera para el periodo indicado corresponden a la comunidad autónoma de Andalucía (con 900 millones), seguida de Aragón, las dos Castillas y Cataluña (con más de 300 millones cada una). Como comunidades menos afectadas se encuentran Madrid, Baleares y Extremadura.

Las cifras calculadas incluyen pérdidas en núcleos urbanos y en obras de infraestructura, por

lo que las mayores pérdidas corresponden a las regiones más extensas, más pobladas y urbanizadas, no necesariamente a las zonas que sufren mayor número de inestabilidades de ladera.

Durante los años 1989 a 1992, en que el IGME publicó los resúmenes sobre riesgos geológicos en España, se registraron movimientos de ladera en mayor número (considerando todas las tipologías) en las comunidades de Andalucía, Valencia, Murcia, Aragón, Cataluña, País Vasco, La Rioja, Cantabria, Asturias y Canarias, y en las provincias de León y Burgos. Como zonas menos afectadas aparecían Madrid, Extremadura, las dos Castillas y Baleares.

En la Figura 13 se presenta un mapa a pequeña escala con la distribución del riesgo por movimientos de ladera en España.

Con respecto a las víctimas, entre 1995 y 2007 ha habido en España una treintena de muertos por desprendimientos y deslizamientos, la mayor parte en vías de comunicación. Históricamente, cabe destacar un gran desprendimiento de un talud en materiales yesíferos ocurrido en el año 1874 en Azagra (Navarra), que causó casi 100 muertos y sepultó parte del pueblo.

Según la UNESCO-IAEG, entre 200 y 300 muertos son atribuibles directamente a deslizamientos cada año en el mundo, sin considerar los deslizamientos provocados por terremotos.

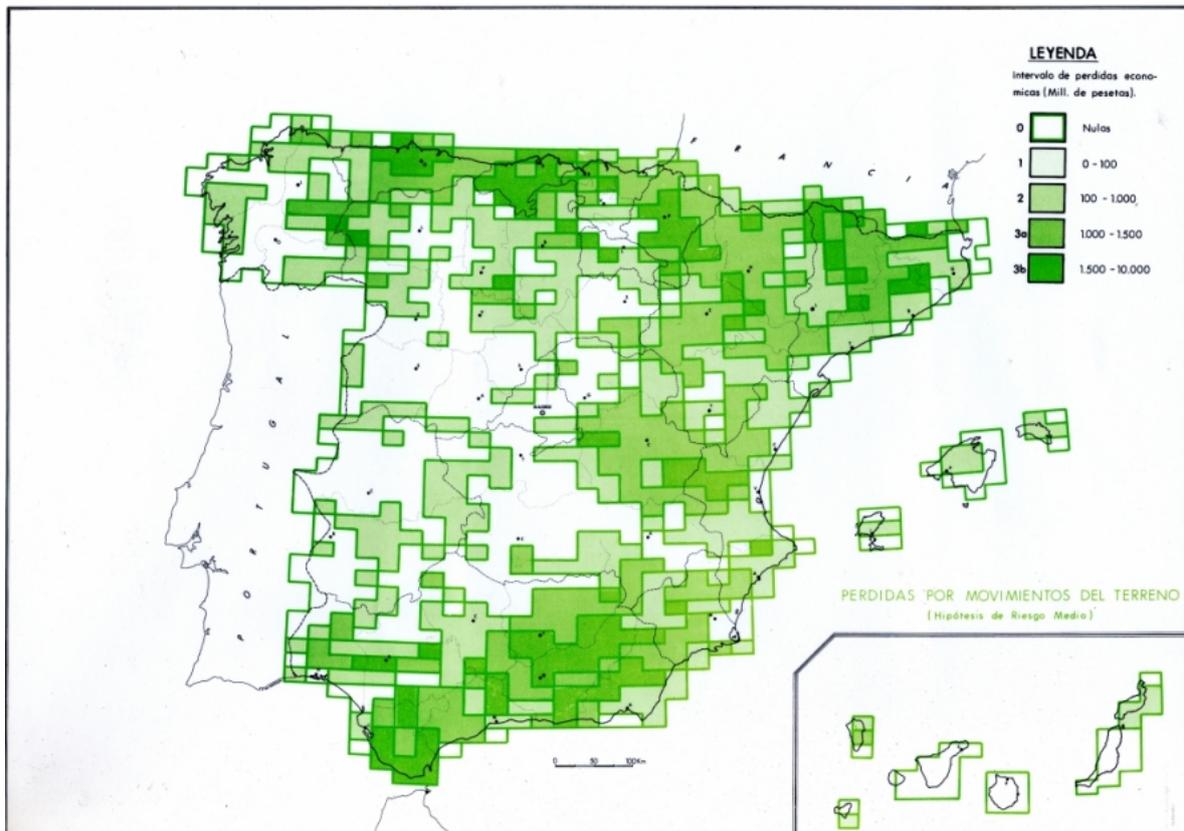


Figura 13. Mapa de riesgo por movimientos de ladera, por cuadrículas 1/50.000.  
 Leyenda: 0- Riesgo Nulo, 1- 0 a 600.000 euros, 2- 600.000 a 6.000.000 euros, 3- 6.000.000 a 9.000.000 euros, 4- 9.000.000 a 60.000.000 euros (IGME, 1987)

## 5. MAPAS DE MOVIMIENTOS DE LADERA

### 5.1. Antecedentes

En las últimas décadas, la cartografía de movimientos del ladera ha sufrido un gran avance, estableciéndose metodologías y procedimientos específicos y aumentando considerablemente las zonas cartografiadas, permitiendo, por tanto, tener en cuenta estos procesos en el diseño y construcción de obras de todo tipo.

Desde el reconocimiento general de zonas inestables, hasta el estudio y análisis de un deslizamiento particular, las diferentes fases y trabajos tienen sus propias metodologías y procedimientos, establecidas a lo largo de las últimas décadas, y desarrolladas en base a la experiencia y aplicación de las mismas.

A este respecto, y en el ámbito internacional, la *International Association of Engineering Geology* (IAEG), junto con la UNESCO, fue pionera en los años 70 en el desarrollo y publicación de metodologías para mapas especializados, incluyendo entre estos mapas de riesgos geológicos.

En España el Instituto Geológico y Minero de España ha realizado mapas de movimientos de ladera desde los años 80, desarrollando metodologías adecuadas a las diferentes escalas y características de las diferentes regiones o zonas estudiadas, tanto para el estudio de los procesos como para la realización de los mapas.

El grupo de trabajo internacional sobre deslizamientos y taludes JTC1 (*Joint International Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes*), formado por representantes de las asociaciones internacionales de Mecánica de Rocas, Mecánica de Suelos e Ingeniería Geológica, ha completado recientemente el documento de referencia "*Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*", que pretende estandarizar los trabajos de evaluación y cartografía de susceptibilidad y peligrosidad por movimientos de ladera. En esta guía se definen los conceptos, contenidos y aplicaciones de los mapas de susceptibilidad, haciendo especial incidencia en su aplicación a las labores de ordenación territorial.

Hasta ahora, los trabajos cartográficos realizados en España con carácter general (al igual que la inmensa mayoría de los trabajos y cartografías realizadas en otros países) no incluyen la evaluación de la peligrosidad ni del riesgo, limitándose a definir las zonas que presentan mayor o menor posibilidad de sufrir movimientos de ladera, establecidas en función del análisis de los factores condicionantes y de la presencia de movimientos actuales.

Se han realizado diversas cartografías inventario y de susceptibilidad (a diferentes escalas y

para regiones o zonas determinadas) atendiendo a la frecuencia, extensión y tipos de los movimientos actuales o pasados, y a la distribución y características de los factores condicionantes de los diferentes tipos de movimientos de ladera; si bien la mayoría de los documentos se han realizado con carácter informativo, sí tienen cierto carácter predictivo, ya que el conocimiento de que en una zona ocurren movimientos de ladera implica que pueden seguir ocurriendo.

Se puede encontrar información cartográfica general sobre movimientos de ladera en diversas publicaciones del IGME, como los Mapas Geomorfológicos a escala 1:50.000 y los Mapas Geotécnicos y de Riesgos Geológicos de ciudades a escala 1/25.000 y 1/5.000; también los Mapas Geotécnicos 1:200.000 editados por este mismo organismo recogen información diversa sobre movimientos de ladera, aunque dada su escala no incorporan información local ni detallada.

Existen también numerosos estudios y cartografías específicas de movimientos de ladera, a diferentes escalas, de algunas provincias o zonas determinadas, realizadas la mayoría por el IGME en diversos trabajos y proyectos, aunque generalmente las escalas son medias, entre 1:25.000 y 1:50.000 o pequeñas, 1:100.000 ó 1:200.000. Como ejemplos destacables cabe citar los mapas a escala 1:50.000 de la región de Murcia, y los mapas a escala 1:200.000 de la provincia de Granada, ambos realizados por el IGME en colaboración con administraciones autonómicas o locales.

Con respecto a las metodologías para cartografía de deslizamientos, en el apartado de bibliografía y referencias se recogen las publicaciones más destacables.

## 5.2. Tipos de mapas

Los mapas de movimientos de ladera tienen por finalidad:

- Prevenir los riesgos y asegurar el correcto uso del territorio, mediante el conocimiento de las zonas que pueden sufrir los procesos y las características de los mismos.
- Servir de base para los estudios de detalle para el diseño y construcción de obras de ingeniería.

Los mapas constituyen el método más efectivo de presentar la información referente a la susceptibilidad, peligrosidad o riesgo de una zona, y deben ser usados por planificadores, arquitectos, ingenieros, científicos o técnicos encargados de las labores de emergencia. Los trabajos de cartografía tienen por finalidad dividir el territorio en zonas o unidades homogéneas clasificadas en grados de susceptibilidad, peligrosidad o riesgo actual o potencial.

Las representaciones cartográficas pueden incluir:

- Localización de los procesos y de las zonas afectadas (densidad, distribución, tipo y grado de actividad de los procesos).
- Representación de los factores que los condicionan.
- Representación de las zonas susceptibles.
- Zonificación de la peligrosidad.

En el Cuadro 2 y en la Figura 14 se describen los tipos de mapas que pueden realizarse, su contenido y su metodología general. Cada uno de ellos se obtiene a partir de la información contenida en los anteriores y del conocimiento y análisis de nuevos datos, de tal forma que para preparar mapas de riesgo son necesarios los de peligrosidad, y para éstos son necesarios los mapas de susceptibilidad.

Cuadro 2. Tipos de mapas y contenido

Tipo de mapa	Contenido	Metodología
Inventario	Localización y distribución espacial de los procesos actuales y pasados y/o de las zonas afectadas. Características de los procesos (tipo, magnitud, volumen, velocidad, etc.)	Recopilación de datos (documentos, mapas, foto aérea, campo). Estudio de la tipología y características de los procesos.
Susceptibilidad	Zonas con diferente grado de susceptibilidad espacial frente a la ocurrencia de un tipo de proceso.	Análisis de los procesos. Análisis de los factores condicionantes. Superposición de factores.
Peligrosidad	Zonas con diferente grado de peligrosidad.	Análisis de los factores desencadenantes. Predicción espacial y temporal de la ocurrencia de los procesos.
Riesgo	Zonificación del territorio en base al riesgo o grado de riesgo	Evaluación de daños y pérdidas debidas a un proceso determinado.

Modificado de González de Vallejo et al. (2004)

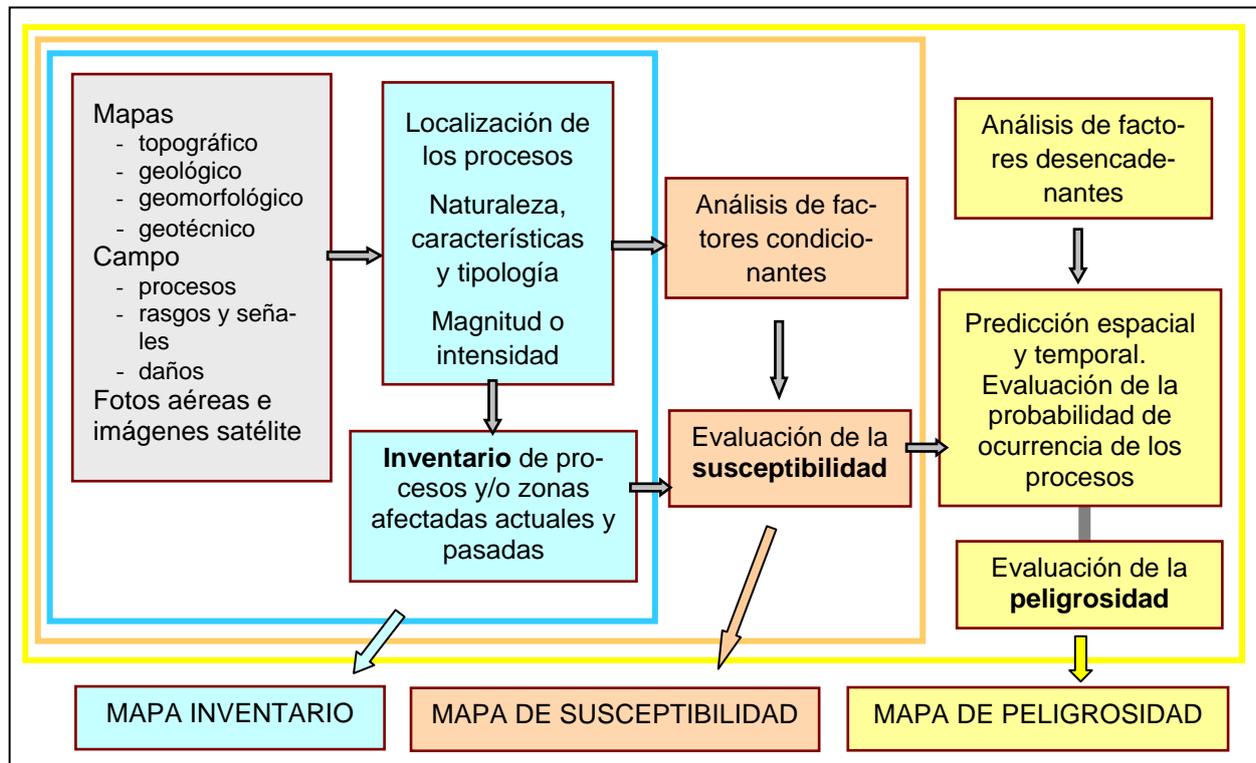


Figura 14. Esquema de la metodología para realización de los mapas inventario, de susceptibilidad y de peligrosidad (modificado de Ferrer, 1991)

### Mapas inventario

Los mapas inventario incluyen la localización espacial de los procesos y/o de las zonas afectadas, así como las características de los mismos: tipología, morfología, materiales, magnitud o intensidad... Representan de forma puntual o zonal los procesos actuales y antiguos y las áreas afectadas y, dependiendo del detalle, puede indicarse el tipo de movimiento, la edad, el grado de actividad, etc. Es importante que los mapas contengan información básica topográfica y geomorfológica. La Figura 15 presenta un ejemplo de mapa inventario a escala media.

Para su preparación se realizan trabajos de campo y análisis de fotos aéreas e imágenes satélite, así como de mapas topográficos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos.

### Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera

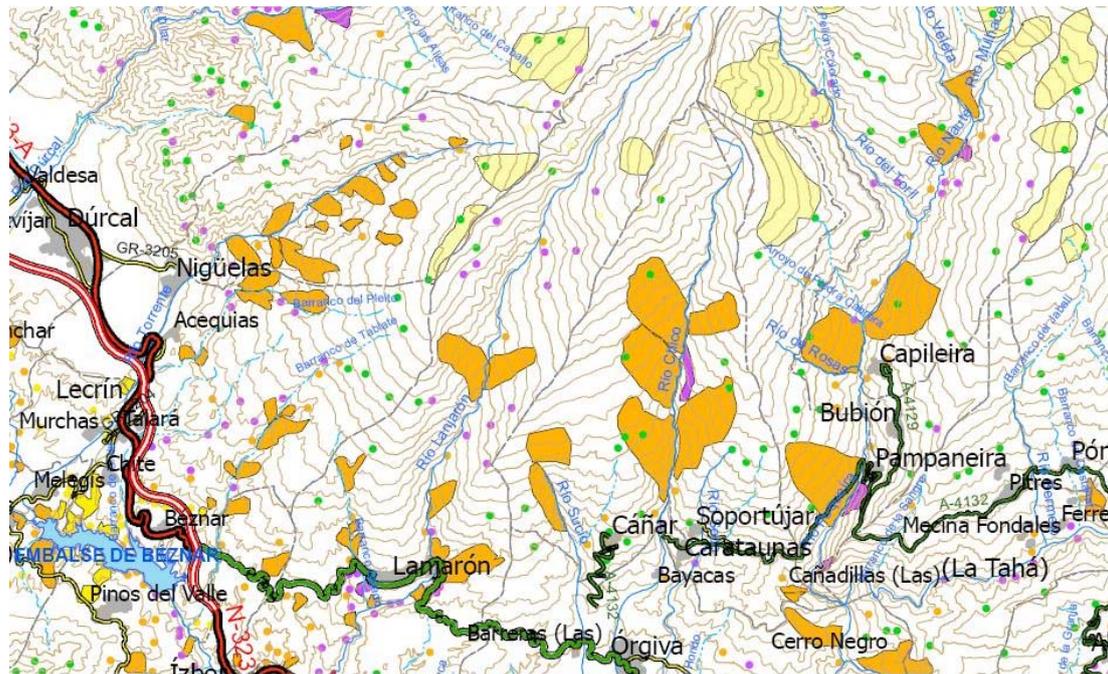
La susceptibilidad es la posibilidad de que una zona sea afectada por movimientos de ladera, expresada en diversos grados cualitativos y relativos. Depende de los factores que

controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales o externos. Los mapas de susceptibilidad pueden realizarse a partir de:

- El inventario de movimientos actuales: las áreas que sufren o han sufrido procesos pueden volver a sufrirlos
- El análisis de los factores condicionantes de los movimientos y de su influencia: las áreas en que confluyen determinados factores que condicionan los procesos en una zona, aunque éstos no se hayan presentado hasta la actualidad, pueden ser afectadas en un futuro.

En el segundo caso, la metodología se basa en la preparación de mapas temáticos de los factores condicionantes y en la superposición de los mismos, estableciéndose el grado de susceptibilidad en función del peso asignado a cada una de las clases en que se ha clasificado cada uno de los factores. Estos mapas se suelen preparar con técnicas SIG (sistemas de información geográfica), que además permiten el análisis automático de los datos y el establecimiento de bases de datos asociadas (Figuras 15, 16 y 17).

La escala de los mapas depende, en primer lugar, de su finalidad y de la cantidad y calidad de la información disponible. Los mapas inventario se realizan para cualquier escala, desde escalas regionales o pequeñas (1:100.000 y menores), a escalas grandes que recogen los rasgos y características de los movimientos; los de susceptibilidad suelen realizarse a escalas medias y grandes ( $\geq 1:50.000$ ), dependiendo del tipo de procesos, número de factores que los condicionan y su complejidad, datos disponibles, etc.



MAPA INVENTARIO

- Deslizamientos
- Desprendimientos
- Flujos de derrubios
- Flujos de tierra y barro
- Procesos superficiales
- Procesos a escala cartografiable
- Procesos a escala no cartografiable

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta

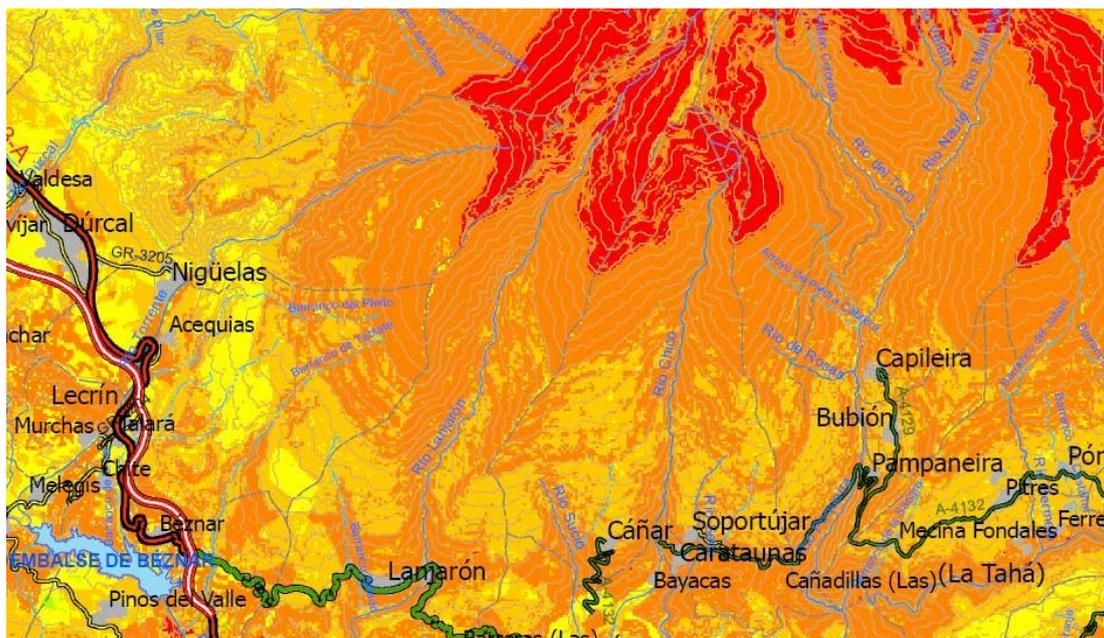
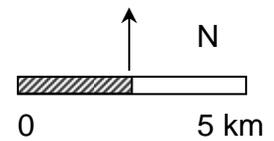


Figura 15. Mapas inventario (arriba) y de susceptibilidad (abajo) por movimientos de ladera a pequeña escala, provincia de Granada (IGME, 2007)

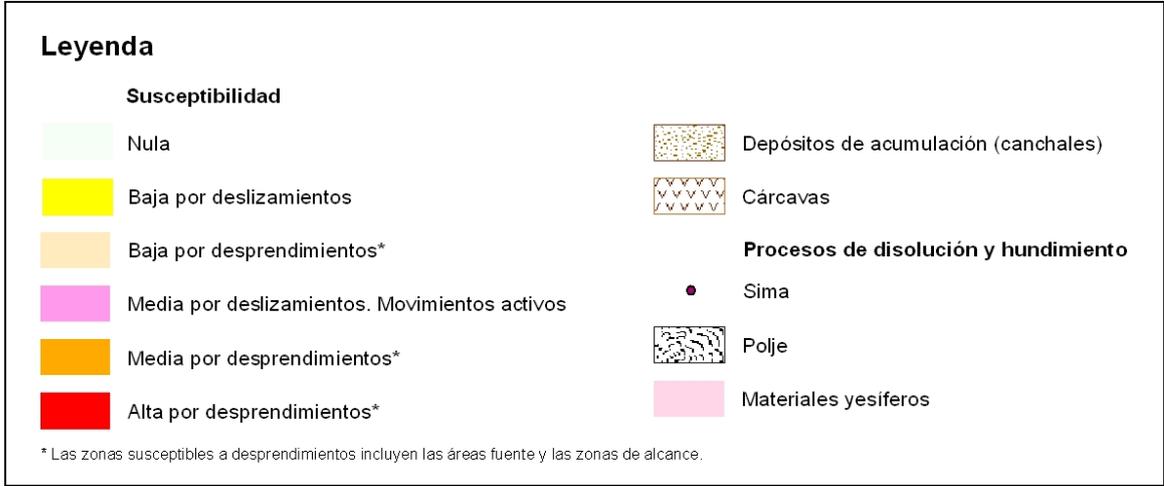
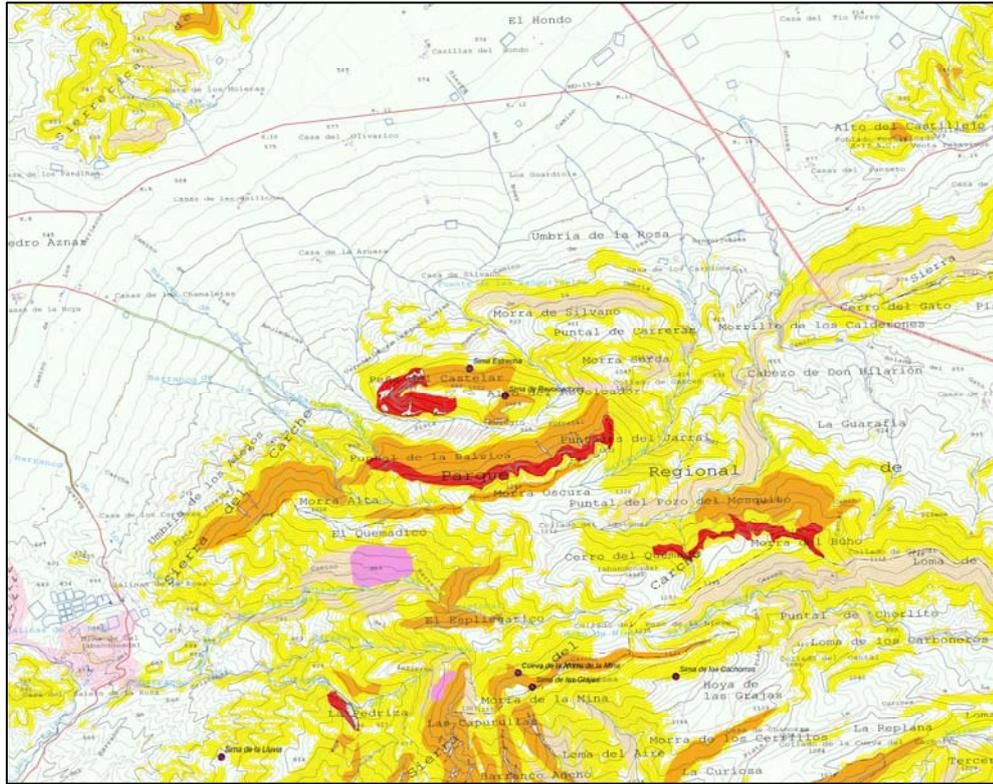


Figura 16. Mapa de susceptibilidad por movimientos de ladera a escala media, provincia de Murcia (IGME-CDSOT, 2006)



Figura 17. Ejemplos de cartografía de susceptibilidad por desprendimientos rocosos. En los mapas se han marcado linealmente los frentes de escarpe y las zonas afectadas por caídas de bloques.  
Escala media (IGME-CDSOT, 2006)

Los mapas de susceptibilidad pueden prepararse por diferentes métodos:

- **Evaluación directa** o “experta” a partir de reconocimientos y cartografía **geomorfológica** de campo; la calidad depende de la experiencia y criterios del autor a la hora de evaluar la potencialidad de los fenómenos según los materiales y características de las laderas y de los deslizamientos presentes, que son reflejados con el mayor detalle posible que permita la escala de trabajo. Al basarse en trabajos de campo, es más frecuente en estudios locales, aunque el método puede aplicarse a escala regional.
- **Superposición de mapas de factores** condicionantes (pendiente, litología, depósitos de materiales sueltos, etc.) con el mapa inventario de procesos inestables, definiendo las zonas susceptibles y el grado de susceptibilidad cualitativa por la presencia de los factores que confluyen en las zonas inestables (por ejemplo, pendientes elevadas, materiales blandos y alterados, niveles freáticos cercanos a superficie, falta de vegetación en la ladera, etc.); aplicable a escalas medias.
- **Combinación de factores**, dividiendo cada uno de ellos en varias clases y asignando un peso a cada clase (en términos cuantitativos) según su contribución a la inestabilidad, evaluada con criterios basados en los reconocimientos de campo y a partir de la distribución y densidad de las inestabilidades presentes en la zona. El área de estudio se suele dividir en celdas o polígonos, y se definen funciones matemáticas o matrices para obtener las puntuaciones finales de cada celda para diferentes combinaciones de factores, decidiendo las más representativas según el ajuste con el mapa inventario de procesos. Este método es válido en zonas con condiciones homogéneas y a escalas medias. La aplicación de **sistemas de información geográfica** permite el tratamiento automático de la información y la realización de numerosos análisis con diferentes combinaciones.
- **Métodos probabilistas**, con la misma metodología anterior pero basados en la determinación estadística de la contribución de los diferentes factores a los movimientos (a partir del análisis de los procesos en la zona) y las combinaciones entre ellos.
- **Métodos deterministas** basados en el cálculo de la estabilidad de las laderas de una zona; aplicable únicamente a gran escala (1:5000 o mayores).

### Mapas de peligrosidad

Los mapas de peligrosidad (*hazard* o amenaza) muestran la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica. Para su realización es necesario conocer, entre otros aspectos, la frecuencia de ocurrencia de los fenómenos. Esto sólo puede ser estimado si

se conocen los datos cronológicos de los eventos pasados y las pautas temporales de los propios procesos o de los factores que desencadenan los procesos (por ejemplo, el periodo de retorno de las precipitaciones que desencadenan deslizamientos en una zona). Sin estos datos no es posible evaluar la probabilidad de los eventos futuros ni, por lo tanto, la peligrosidad en términos cuantitativos.

Otro aspecto de la predicción temporal es la aplicación a zonas muy concretas o incluso a movimientos particulares. En estos casos, la observación e instrumentación in situ pueden aportar las pautas del comportamiento del terreno, pudiéndose llegar a predicciones fiables basadas siempre en el análisis detallado del proceso. La predicción temporal de ocurrencia de los movimientos (Alonso, 1987, en Corominas, 1988) se puede establecer en base a:

- Correlación directa con las lluvias.
- Medición de los movimientos.
- Medición de presiones intersticiales.

El primer método se basa en la relación entre precipitaciones y movimientos de ladera, al actuar las primeras como factor desencadenante; su validez es mayor en caso de zonas propensas a movimientos superficiales en materiales sueltos o blandos, y puede emplearse para prevención a largo plazo. Los métodos basados en la observación de movimientos implican el control y la instrumentación de las laderas inestables con la finalidad de medir los desplazamientos, obtener las relaciones tiempo-desplazamiento y predecir, en base a los movimientos registrados, el momento de la rotura; son aplicables a gran escala y corto plazo, lo mismo que sucede con el tercer método, basado en la relación existente, en determinados casos, entre la posición del nivel freático y la ocurrencia de deslizamientos.

El principal inconveniente de la predicción temporal de movimientos de ladera es que se necesitan datos cuantitativos de los factores que desencadenan las inestabilidades en una zona determinada (registros históricos detallados, datos instrumentales). Las predicciones pueden ser válidas en deslizamientos concretos o en áreas limitadas, no siendo aplicables a grandes extensiones por su complejidad y el elevado coste de la instrumentación de las laderas. Los datos obtenidos para una determinada zona no son extrapolables, por la variabilidad de las condiciones.

También pueden establecerse correlaciones entre terremotos y ocurrencia de movimientos en zonas sísmicas a partir de observaciones y datos históricos.